



UNIVERSIDAD  
**C I E N F U E G O S**  
Carlos Rafael Rodríguez

# *TRABAJO DE DIPLOMA*

## *Título*

*DISEÑO DE UNA BRIQUETEADORA HIDRÁULICA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BRIQUETAS DE CARBÓN VEGETAL*

**AUTOR:**

Ariel E. Bermúdez Díaz de Villegas

**TUTORES:**

Dr. Pedro Fundora Beltrán

Cienfuegos, 2017

# PENSAMIENTO

La inconstancia y la impaciencia destruyen los más elevados propósitos.

Confucio

## **AGRADECIMIENTOS**

Con este trabajo culminan 5 años de estudio, es por esto que quiero agradecer a todas las personas que han contribuido a que esto ocurriera.

A mi mamá por siempre estar preocupándose por mí y apoyándome, aunque yo pasara mucho tiempo lejos de casa. Por su amor incondicional gracias.

A mi papá que, aunque esté muy lejos siempre fue mi guía y ejemplo a seguir en toda mi vida como estudiante. Que a pesar de la distancia siempre estará presente en mi corazón.

A mi queridísima abuela por todo su amor, dedicación y apoyo en todos estos años. Sin ella nada de esto hubiera sido posible.

A mi novia, por haber estado a mi lado todo este tiempo de estudio y ayudarme siempre en todo lo que pudo. Porque insistía en que yo tenía que trabajar en la tesis en todo momento.

A toda mi familia por siempre preocuparse y estar al pendiente de mí en todo momento y por sentirse siempre muy orgullosos de mí.

A mi tutor Pedro Fundora Beltrán por compartir conmigo todos sus conocimientos y enseñarme que siempre se pueden realizar tus sueños con esfuerzo, por mostrarme el camino guiado siempre por el señor que es el que ha hecho posible que este hoy aquí.

A todos mis amigos del aula por estar a mi lado en los buenos y malos momentos y por haberme hecho la vida en la universidad mucho más alegre. Nunca los olvidaré.

Al resto de mis amigos que siempre se preocuparon por mí y me brindaron su apoyo de una forma u otra.

A todos los profesores que de una forma u otra contribuyeron en mi formación académica, la cual tendré presente el resto de mi vida.

A todas aquellas personas que de alguna manera ayudaron a que este trabajo se hiciera realidad y estuviera listo en tiempo.

**A TODOS MUCHAS GRACIAS**

# RESUMEN

Los análisis de las diferentes tecnologías de densificación y sus ventajas, costos, gastos energéticos, posibilidades de densificar carbón vegetal y los antecedentes en el diseño, nos preparan para desarrollar otra tecnología - las máquinas briqueteadoras hidráulicas.

Esta tecnología utiliza la presión de un sistema hidráulico para crear la fuerza de compresión. El gasto de la energía depende de la presión y el flujo del sistema hidráulico. Las máquinas permiten garantizar más estabilidad de la briqueta producida, y resuelve los problemas de las máquinas predecesores. Como es de suponer la profundización del este estudio de esta nueva innovación puede dar la respuesta definitiva a las máquinas de densificación.

Se utilizó un modelo matemático de una simulación experimental de investigaciones anteriores, para la selección de los parámetros geométricos principales de diseño de la máquina, que intervienen en la alimentación de la misma.

También se usó una metodología para la selección de los componentes del sistema hidráulico, que permitió calcular el flujo y la presión necesaria del sistema hidráulico, además se realizaron los cálculos de comprobación de la resistencia mecánica de algunos de los componentes fundamentales de la máquina.

En el trabajo se hace, además, un análisis económico preliminar para determinar los costos de fabricación de la máquina.

## **Palabras claves:**

Máquina

Briquetas

Briqueteadoras

Hidráulicas

# ABSTRACT

An analysis of the different technologies of densification and their economic values, cost, energy used, ability to compress vegetable coal, and the structure of their design, had sprouted the necessity to develop a new technology- the briquettes hydraulic machine.

This new technology uses the pressure generated by two hydraulic cylinders in parallel to create the compressive force. Its energetic values are directly dependent on the pressure used and the hydraulic flow. This machine allows stability in production of briquettes, and resolves the common problems encountered in its predecessors. The outcome of this scientific investigation has shown favourable results and the machine can be considered as the definitive prototype of all former designs.

**Key words:**

Machine

Briquettes

Briquette machine

Hydraulics

# Índice

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| CAPÍTULO I: PROCESO DE AGLOMERACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CARBÓN VEGETAL, ESTADO ACTUAL Y PERPESPECTIVA..... | 4  |
| 1.1 La energía. ....  | 4  |
| 1.1.1 Fuentes de energía no renovable. ....   | 4  |
| 1.1.2 Fuentes de energía renovable. ....  | 5  |
| 1.1.3 Propiedades de la energía renovable .....   | 5  |
| 1.2 Generalidades sobre las briquetas, el carbón vegetal y los aglutinantes. ....                         | 5  |
| 1.2.1 Las Briquetas .....   | 5  |
| 1.2.2 Carbón Vegetal .....  | 7  |
| 1.2.2.1 Mercados internacionales. ....  | 7  |
| 1.2.3 Los Aglutinantes.....   | 10 |
| 1.2.4 Análisis de las mezclas para la elaboración de briquetas .....                                      | 14 |
| 1.2.5 Ventajas, desventajas de las briquetas .....  | 15 |
| 1.2.6 Condiciones de uso de la tecnología .....   | 16 |
| 1.3 Máquinas utilizadas para la fabricación de briquetas o briqueteadoras.....                            | 25 |
| 1.3.1 Países que emplean el uso de máquinas briqueteadoras.....   | 25 |
| 1.3.2 Características de las tecnologías de densificación más utilizados .....                            | 26 |
| 1.3.3 Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de densificación. ....                           | 28 |
| 1.3.4 Actualidad de las máquinas briqueteadoras.....  | 29 |
| 1.4 Teoría Del Diseño.....  | 30 |
| 1.4.1 Criterios de Diseño.....  | 30 |
| 1.4.2 Justificación del diseño. ....  | 30 |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.4.3 Generalidades sobre el diseño de máquinas .....   | 31        |
| 1.4.4 Cálculo de las piezas de las máquinas durante el diseño .....   | 32        |
| 1.5 Conclusiones parciales.....   | 32        |
| <b>CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA BRIQUETeadora<br/>HIDRÁULICA PARA PRODUCIR BRIQUETAS DE CARBÓN VEGETAL. ....</b>                                      | <b>34</b> |
| 2.1 Características de las mezclas de carbón vegetal en el proceso de aglomeración<br>.....   | 34        |
| 2.1.1 Metodología de la investigación .....   | 34        |
| 2.1.2 Experimento para determinar la densidad natural de la mezcla de carbón<br>vegetal .....   | 34        |
| 2.1.3 Técnica operatoria para determinar la densidad natural de la mezcla .....   | 34        |
| 2.1.4 Técnica operatoria para determinar el coeficiente de fricción de la mezcla de<br>carbón vegetal y lodo de la UEB Glucosa.....                                     | 35        |
| 2.1.5 Experimento para determinar el comportamiento de la densidad en un<br>proceso uniaxial de deformación.....  | 36        |
| 2.1.6 Descripción del experimento .....   | 37        |
| 2.1.7 Análisis del modelo de comportamiento de la función exponencial para la<br>densificación. ....  | 38        |
| 2.1.8 Análisis de los resultados obtenidos en el experimento.....   | 39        |
| 2.1.9 Determinación de la función de linealidad y la función exponencial para<br>briquetas de carbón vegetal.....   | 42        |
| 2.2 Algoritmo para determinar las dimensiones geométricas de la cámara de<br>alimentación, numero de ciclos, numero de etapas, según la capacidad de<br>producción..... | 44        |
| 2.2.1 Determinación de la masa potencial barrida en briqueteadoras hidráulicas .  | 44        |
| Fig. 2.1.....   | 44        |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.2 Análisis teórico para determinar la masa potencial barrida en una briqueteadora hidráulica de dos etapas densificación (figura 2.2) ..... | 44 |
| 2.2.3 Calculo teórico de la masa potencial barrida en una briqueteadora hidráulica de dos etapas.....   | 45 |
| 2.2.4 Determinación de la densidad real alcanzada en la cámara de alimentación. ....  | 46 |
| 2.2.5 Calculo de la masa real de la briqueta formada en la primera etapa de compactación.....   | 47 |
| 2.3 Capacidad de producción ( $CT$ ) real de briqueteadora hidráulica .....   | 47 |
| 2.4 Cálculos energéticos fundamentales para la selección de los componentes del sistema hidráulico .....  | 48 |
| 2.4.1 Calculo teórico del trabajo en los distintos procesos en la formación de la briqueta ( $WE$ ).....  | 48 |
| 2.4.2 Calculo del flujo ( $Qc$ ) necesario en los cilíndricos hidráulicos .....   | 51 |
| 2.4.3 Selección de la bomba hidráulica.....   | 51 |
| 2.4.4 Selección del motor.....  | 52 |
| 2.5 Cálculo de la distribución de los agujeros en las bridas de compresión .....  | 52 |
| 2.6 Elección de los componentes del sistema hidráulico. Según tipo y calidad de las briquetas y capacidad de producción de la máquina.....      | 53 |
| 2.6.1 Mecanismo de accionamiento.....   | 53 |
| 2.6.2 Calculo de los mecanismos de accionamiento con cilindros y pistones.....  | 53 |
| 2.7 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LA BRIQUETEADORA .....   | 55 |
| 2.7.1 Capacidad de producción deseada ( $CT$ ).....   | 55 |
| 2.7.2 Determinación de la fuerza máxima ( $Fmax$ ) aplicada a la briqueta por el émbolo. ....   | 55 |
| 2.7.3 Número de ciclos ( $Nc$ ) por minuto de trabajo de la máquina.....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| 2.7.4 Tiempo de un ciclo ( $T$ ) .....  | 57 |
| 2.7.5 Diámetro necesario de los cilindros hidráulicos ( $D_{cil}$ ).....  | 57 |
| 2.7.6 Determinación del tiempo del ciclo de la última etapa de densificación .....                                      | 58 |
| 2.7.7 Determinación del tiempo de la carrera de trabajo de la última etapa.....   | 58 |
| 2.7.8 Cálculo del flujo necesario en los cilíndricos hidráulicos.....   | 58 |
| 2.7.9 Calculo del desplazamiento geométrico de la bomba en $cm^3$ .....   | 59 |
| 2.7.10 Potencia máxima necesaria de la bomba.....   | 59 |
| 2.7.11 Selección del motor.....   | 59 |
| 2.7.12 Selección de la bomba hidráulica.....  | 60 |
| 2.7.13 Calculo de parámetros geométricos de la máquina .....  | 60 |
| 2.8 Conclusiones Parciales .....  | 61 |
| CAPITULO III: ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE RESITENCIA MECÁNICA .....  | 62 |
| 3.1 Análisis Teórico de la Resistencia Mecánica de los Componente Fundamentales de la Briqueteadora .....               | 62 |
| 3.1.1 Teoría del cálculo de la resistencia mecánica de los tornillos de los soportes de los cilindros hidráulicos ..... | 62 |
| 3.1.2 Teoría del cálculo para el pasador que acopla los cilindros hidráulicos con los soportes. ....                    | 65 |
| 3.1.3 Teoría del cálculo de la fuerza de fricción ( $F_f$ ) mínima desarrollada por la briqueta en el conducto.....     | 66 |
| 3.2 Cálculos de resistencia mecánica de los componentes fundamentales de la Briqueteadora. ....                         | 66 |
| 3.2.1 Cálculo de las tensiones en tornillos.....  | 66 |
| 3.2.2 Cálculo de la resistencia del pasador .....   | 69 |
| 3.2.3 Calculo de la fuerza de fricción ( $F_f$ ) mínima desarrollada por la briqueta en el conducto .....               | 70 |

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 3.3 Análisis de la resistencia mecánica de los conjuntos fundamentales de la briqueteadora ..... | 71                                   |
| 3.3.1 Introducción.....  | 71                                   |
| 3.3.2 Cálculos de Resistencia mecánica en los conjuntos que forman el tubo de briqueteado .....  | 72                                   |
| 3.3.3 Cálculos de resistencia en el soporte principal .....                                      | 76                                   |
| 3.3.4 Cálculos de resistencia en la estructura soporte.....                                      | 77                                   |
| 3.4 Conclusiones Parciales .....   | 79                                   |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y CÁLCULO APROXIMADO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA BRIQUETEADORA. ....     | 80                                   |
| 3.1 Generalidades del costo .....  | 80                                   |
| 3.2 Cálculo de las materias primas y los dispositivos .....                                      | 80                                   |
| 3.3 Costos de materiales auxiliares .....  | 82                                   |
| 3.4 Gastos relacionados con el trabajo humano.....   | 83                                   |
| 3.4 Gasto generado por la amortización de los equipos.....                                       | 84                                   |
| 3.5 Costo por el consumo de energía eléctrica .....  | 85                                   |
| 3.6 Costo total de la fabricación .....  | 85                                   |
| 3.7 Análisis de los resultados .....   | 86                                   |
| 3.8 Conclusiones Parciales .....   | 86                                   |
| CONCLUSIONES.....  | 87                                   |
| RECOMENDACIONES .....  | 88                                   |
| Bibliografía .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Anexos .....   | 93                                   |
| Anexo 1 .....  | 93                                   |
| Anexo 2 .....  | 95                                   |
| Anexo 3 .....  | 130                                  |



## INTRODUCCIÓN

La energía ha sido y es una necesidad básica de la sociedad a lo largo de su existencia. A nivel mundial se consumen aproximadamente 40 000 kcal/día per cápita de energía, lo que supone 20.5 veces las necesidades alimenticias. El consumo energético está desigualmente repartido, correspondiendo las 4/5 partes a 1/4 de la población, es decir, aquella que habita en los 42 países más desarrollados.

En lo que se refiere a la evolución del consumo global de energía en los países desarrollados, la mejora de la eficiencia de los procesos energéticos supone una disminución del mismo, al igual que se espera un aumento moderado debido a la evolución de la sociedad.

El consumo de combustibles fósiles, aparte de su vida limitada, genera graves problemas de contaminación atmosférica como son la lluvia ácida, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, debido a la emisión de óxidos de azufre y nitrógeno, dióxido de carbono y compuestos fluorados. La energía nuclear es altamente contaminante, debido principalmente a los residuos que genera, los cuales permanecen activos durante miles de años. A esto hay que añadir la peligrosidad de la operación de las centrales, lo que provoca el rechazo de la población.

Desde el punto de vista de la contaminación las energías renovables constituyen un baluarte de las políticas energéticas nacionales, ya que contribuyen a abastecer la demanda con un escaso impacto ambiental, lo que constituye un pilar importante para el futuro, evitando además la dependencia energética de otros países.

Por esto es necesario el aprovechamiento de los residuos y materias que carecen de utilización abundante y encontrar una tecnología que haga factible su utilización. Un ejemplo de estos residuos es el carboncillo el cual obtiene las mismas propiedades que el carbón natural si es aglomerado adecuadamente por ello en el siguiente informe se

propondrá el diseño de una máquina briqueteadora que sea capaz de lograr este objetivo.

Una importante alternativa, es la aglomeración con la tecnología más apropiada para cada caso. Estas alternativas, aunque antiguas (Finales del siglo XVIII) ha tenido muy poco desarrollo hasta la etapa actual, limitándose sólo a países desarrollados y a otros subdesarrollados con una base tecnológica importante. La gran mayoría de los países subdesarrollados, no utilizan éstos métodos.

### Titulo:

Diseño de una máquina briquetadora hidráulica para producir briquetas de carbón vegetal.

### Problema:

Existe un gran potencial de residuos de carbón vegetal en la provincia de Cienfuegos que constituye un contaminante el cual no forma parte de ningún tipo de proceso debido a que no se dispone de una tecnología apropiada para la densificación de los mismos.

### Hipótesis:

Con el diseño de una briquetadora hidráulica para densificar el carboncillo residual del proceso de producción de carbón vegetal se asegurará el aprovechamiento del mismo dándole un valor agregado a este combustible desde el punto de vista económico y medio ambiental.

### Objetivo General:

Diseñar una briquetadora hidráulica que sea capaz de aglomerar briquetas de carbón vegetal y que pueda adecuarse a los requerimientos de los consumidores.

### Objetivos Específicos:

Realizar un análisis bibliográfico que aborde el tema.

Analizar el comportamiento de las materias primas.

Realizar los cálculos necesarios para un correcto funcionamiento.

Analizar los costos de fabricación de la máquina.

# **CAPÍTULO I: PROCESO DE AGLOMERACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CARBÓN VEGETAL, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA.**

En este capítulo se realizará un análisis bibliográfico con el objetivo de ampliar nuestros conocimientos sobre el estado del arte, el origen y la utilidad del polvo de carbón para la producción de briquetas. La búsqueda estará relacionada con los siguientes tópicos: La importancia de las energías, las briquetas, sus características fundamentales y tecnologías utilizadas para su aglomeración, enfatizando en las briqueteadoras hidráulicas; en expectativa de desarrollar la idea de la importancia de una máquina que funciona con el dicho recurso (residuos del carbón vegetal) para producir un combustible sólido. Se considera los datos de varias fuentes de información, que incluye libros de textos, tesis de grado y maestría, patentes, etc.

## **1.1 La energía.**

Se puede definir la energía como la capacidad que tienen los cuerpos para cambiar o para producir cambios.

Esta energía se manifiesta de múltiples formas, si es en forma de calor se denomina calorífica, si es en forma de luz, luminosa y si es en forma de electricidad, eléctrica.

Hay muchos tipos de energía, pero podemos destacar la solar, la atómica o nuclear, la hidráulica, la química, la eléctrica, la biomásica, la eólica, la mecánica y la térmica.

Los tipos de energía se suelen clasificar en función a su fuente, en especial si su fuente es agotable (no renovable) o no agotable (renovable).

### **1.1.1 Fuentes de energía no renovable.**

Las energías no renovables son aquellos que no se reponen al ritmo que se consumen, podemos encontrar:

1. Combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural)
2. Nuclear (fisión y fusión nuclear).

### **1.1.2 Fuentes de energía renovable.**

Las energías renovables son aquellos que no se agotan aunque se utilicen:

1. Mareomotriz (mares)
2. Hidráulica (embalses)
3. Eólica (viento)
4. Geotermal (tierra)
5. Solar (sol)
6. Biomasa (vegetación)

### **1.1.3 Propiedades de la energía renovable**

1. Recursos que se encuentran muy distribuidos en todo el planeta, lo que permite una dependencia energética.
2. Generalmente son tecnologías modulares con cortos periodos de construcción, permitiendo la instalación en múltiples emplazamientos.
3. El proceso tecnológico involucrado es relativamente sencillo, siendo interesante para los países en desarrollo.
4. Las máquinas para extraer la energía son fáciles a construir e instalar.
5. El impacto ambiental es muy bajo.
6. Es un recurso inagotable.

Por energía sostenible se entiende la energía producida y utilizada de forma que sustente el desarrollo humano en todas sus dimensiones sociales, económicas y medioambientales. El objetivo de tal sistema es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

## **1.2 Generalidades sobre las briquetas, el carbón vegetal y los aglutinantes.**

### **1.2.1 Las Briquetas**

Los productos densificados reciben diferentes denominaciones según su forma y dimensiones: gránulos, pellets, briquetas, astillas o leños. Si el producto obtenido al final de un proceso de compactación tiene dimensiones superiores a 30 mm se le denomina briqueta. Los pellets tienen diámetro entre 6 - 8 mm y longitud entre 10 – 12 mm.

La briqueta es un biocombustible sólido, que se obtiene mediante la compactación o densificación de residuos (de origen lignocelulósico u otros materiales). Se producen bajo la aplicación de grandes presiones y temperaturas elevadas que provocan la auto-aglomeración de sus partículas, o mediante bajas y medianas presiones con ayuda de una sustancia aglomerante para lograr su compactación. Frecuentemente son utilizadas en el sector doméstico e industrial para la generación de calor o producción de energía.

Las briquetas tienen forma definida por un molde. Una buena briqueta debe mantener su forma durante la combustión, en el manejo y el transporte. Es un producto 100% ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida, usualmente se presenta en forma cilíndrica (diámetros mayores a 30 mm) o de bloques, es un sustituto del carbón y la leña; tiene alta densidad y es comercializada en bolsas de 5 a 20 kg.

Para elaborar las briquetas se deben obtener los residuos finos de la fabricación del carbón, también se pueden usar los residuos finos de carbón mineral, asimismo, se puede utilizar carbón procedente de la carbonización de la madera blanda o residuos de industrias forestales (procedente de aserraderos, fábricas de puertas, muebles, tableros, etc.), agrícolas o ganaderos (cáscaras de café, coco, cascarilla de arroz, etc.), residuos sólidos urbanos, carbón vegetal, o una mezcla de todos ellos.

Los motivos por los cuales han sido desarrolladas son: para revalorizar un conjunto de residuos sólidos orgánicos que producían calor en su combustión, para aumentar la densidad de ciertos biocombustibles que eran muy caros de transportar debido a los bajos valores de los mismos, para sustituir combustibles sólidos fósiles, y para eliminar residuos sólidos de tipos muy variables.

Deben proveerse de “aglutinantes” o sustancias que mezcladas al polvo pegan las partículas entre sí y forman una pieza sólida: almidón, arcilla, excretas animales, melaza, resinas vegetales, productos derivados del petróleo. Luego se utiliza un equipo de compactación para el proceso de conformación donde las briquetas obtenidas tengan un tamaño y densidad uniforme; se las seca, y posteriormente pasan a tolvas pesadoras para su envasado. Los procesos de prensado pueden ser por

extrusión, que es el que se utiliza en los EE.UU. Las briquetas de carbón se caracterizan por su combustión uniforme, alto poder calorífico, y menor contenido de humedad.(Chicago 2007). La capacidad calórica de las briquetas puede ser igual o superior al carbón de madera, está en función al aglutinante usado para unir las partículas de carbón, y la composición de la mezcla que será sometida a la densificación.

### **1.2.2 Carbón Vegetal**

El Carbón vegetal es el residuo sólido que queda de "carbonizar" la madera, en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se realiza sobre la entrada del aire, durante el proceso de pirólisis o de carbonización, para que la madera no se queme simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal.

Una abrumadora cantidad de carbón vegetal en el mundo se produce por el sencillo proceso que se acaba de describir. Una parte de la carga de madera se quema con grandes desperdicios para generar el calor inicial y no se recupera nada de los subproductos o del calor soltado por el proceso pirolítico.

Se emplean a veces para producir carbón vegetal otros materiales leñosos, como cáscaras de nueces y cortezas. Muchos residuos agrícolas pueden también producir carbón vegetal por pirólisis, pero el carbón que resulta es un polvo fino que debe generalmente ser aglomerado en briquetas por un proceso de densificación, a un costo adicional, para la mayoría de los usos del carbón. (FAO 1983)

#### **1.2.2.1 Mercados internacionales.**

Estados Unidos constituye el mercado más importante, por ingreso, población y por la costumbre de la "barbacoa". De acuerdo a las estadísticas de la asociación americana de fabricantes de barbacoas, 3 de cada 4 viviendas unifamiliares suburbanas tienen uno o más tipos de parrillas, estimándose que se hacen 2.900 millones de asados anuales. También se venden 11,2 millones de parrillas de todo tipo por año, y es común que existan dos tipos de parrillas por hogar. De esta manera el 57% de los

usuarios tiene una parrilla a gas y el 54% una parrilla de carbón. El 95% de los usuarios de carbón lo utiliza bajo la forma de briquetas, alcanzando el consumo anual unas 884.000 toneladas, calculándose el volumen del negocio en unos 600 millones de dólares anuales.

Los leños artificiales, hechos con aserrín y aglutinantes constituyen un mercado más reducido. Las importaciones de este producto, en 1998 totalizaron 47.740 toneladas por un valor de 22.445.000 US\$. Canadá es el principal proveedor con más del 97% del total, a lo que se suman pequeñas cantidades provenientes de China, Taiwan y Honduras.

El carbón vegetal es considerado un producto de nicho (“gourmet product”), destinado a un grupo de consumidores más sofisticado que desea ahumar los alimentos. Por este motivo la oferta se concentra en carbones obtenidos de maderas aromáticas como robles, arces y frutales entre otras. Existe una importante producción local (con más de 2000 establecimientos registrados), basada en el aprovechamiento de la amplia base de especies latifoliadas del sur. La leña, más que un sustituto parece comportarse como un producto de uso complementario por este segmento de los consumidores, destinado principalmente al ahumado de los alimentos.

El predominio del uso de briquetas y la existencia de la producción local hace que el mercado de los EE.UU. sea menos accesible para los productores de carbón que los mercados europeos.

La Unión Europea, con una demanda de aproximadamente 400.000 toneladas anuales, es el principal mercado internacional para el carbón vegetal de uso doméstico. Los principales importadores son Alemania (70/80.000 toneladas/año); el Reino Unido (60.000 toneladas/año) y España e Italia, con una demanda de aproximadamente 40.000 toneladas/año cada una. En este último caso, no se trata de una demanda interna tan significativa, sino que generalmente actúan como países de introducción para una posterior distribución al resto de la Unión Europea.

Los principales proveedores internacionales son los países asiáticos (Malasia, Indonesia), Sudáfrica y Paraguay, así como otros países asiáticos y africanos con disponibilidades de maderas latifoliadas duras, aunque en estos casos se trata más bien de importadores europeos que establecen sus operaciones en busca de los costos más bajos. Los pocos actores internacionales que han establecido marcas propias, muestran una tendencia a incorporar productos complementarios, como pastillas para encendido, kits para asados, líneas de objetos y productos para aire libre (la lógica que vincula esta incorporación es la recreación al aire libre), entre otros.(Exportaciones 2003)

En nuestro país la exportación del carbón vegetal representa hoy una significativa fuente de ingresos que puede incrementarse en los próximos años. Este producto, muy demandado en el mercado internacional, ha logrado posicionarse por su calidad y puede catalogarse como una fuente de ingresos que aún está lejos de ofrecer todas sus potencialidades.

#### **1.2.2.2 Mercados en Cuba**

En el municipio de Jobabo, las Tunas se encuentran la mayor planta de beneficio de carbón del país, con una capacidad para procesar diariamente 20 toneladas del producto.

La empresa española Ibérica y Combustibles Sólidos (Ibecosol S.L), comenzó a comercializar el carbón cubano en el año 2007. Desde entonces hasta hoy, ha sido considerable el aumento de la demanda de este producto en mercados tan exigentes como es el caso del europeo.

Hoy existen producciones en Paraguay, Argentina, Venezuela, República Dominicana e incluso, se llega a producir en Nicaragua, pero se están muy interesados en la producción de carbón en Cuba. En el mundo entero la materia prima que se utiliza para fabricar carbón tiene un valor agregado mientras que en Cuba se encuentra de forma natural e incluso forma parte de la vegetación que es considerada una plaga, eso lógicamente incrementa las utilidades.(Herrera, 2017)

### **1.2.3 Los Aglutinantes**

Los aglutinantes (aglomerantes) son sustancias que son capaces de generar fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos.

Los aglutinantes usados en las briquetas de carbón vegetal pueden clasificarse como emisores y no emisores de hollín. Los aglutinantes deben elegirse objetivamente, ya que representan una porción significativa del costo de la briqueta, además de que el humo y el olor que algunos despiden durante su quemado es indeseable.

El aglomerante para la elaboración de briquetas orgánicas debe cumplir los siguientes aspectos:

- De fácil preparación.
- De fácil aplicación.
- Debe ser de fácil obtención.
- De costo relativamente bajo.
- No ser contaminante durante su combustión.
- Al entrar en contacto con la piel no debe ser nocivo.
- Facilidad de mezclado con la materia prima.
- Debe poseer buenas propiedades de adhesión.
- Presentar resistencia mecánica considerable.

#### **1.2.3.1 Tipos de aglutinantes.**

Los aglutinantes se elaboran a partir de resinas fenólicas, de los almidones provenientes de los vegetales, en algunos casos modificados, y de las arcillas. Los aglomerantes como las resinas presentan mejores propiedades de flexibilidad y resistencia en las operaciones de corte o desbaste, que los aglomerantes vitrificados,

los aglomerantes que provienen de vegetales presentan mejores propiedades de cohesión para compactar biomasa.(Marticorena, 2014)

Los aglutinantes pueden clasificarse en: combustibles y no combustibles. Son combustibles: las resinas naturales y sintéticas, alquitrán, estiércol animal, manteca, aguas servidas, residuales o barro, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas y almidones, etc. Entre los no combustibles se tiene: limo, arcilla, barro, cemento, cal, etc.

También se los puede clasificar en orgánicos e inorgánicos. Son orgánicos: albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, dextrina, gelatinas, ligninas-lignosulfonatos, melazas, papel, aserrín, resinas, turba, y entre los inorgánicos: alumbre, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice y yeso.(Marticorena 2014)

No todos los aglutinantes son adecuados para la fabricación de briquetas combustibles por diversos factores. Dentro de los aglutinantes que han sido probados y utilizados encontramos los siguientes:

- -Almidón (dextrina amarilla C<sub>6</sub> H<sub>12</sub> O<sub>5</sub>, 5% de humedad, pH = 3, solubilidad del 95%, 1.88 de fluidez de bórax y 6 azúcares reductores)
- -Almidón de maíz no refinado y granulado.
- -Almidón industrial de maíz o mijo refinado.
- -Almidón industrial de mandioca no refinado.
- -Almidón en forma de pasta (se agrega a un 15% en agua a 70°C)
- -Fécula de mandioca
- -Melaza de caña de azúcar
- Melaza y carbón mineral (10-15% de melaza con 25-60% de carbón, buena resistencia mecánica y buen comportamiento durante la combustión)
- -Sedimentos de mandioca (casabe, con tratamiento previo por alcálisis o calentamiento mayor a 60°C)

- -Sedimentos de brea (Walter, 1985).
- -Brea
- -Resina sintética
- -Emulsión asfáltica
- -Alquitrán vegetal
- -Alquitrán de carbón mineral
- -Engrudo y cola de taninos
- -Aceite de caoba
- -Arcilla de loza
- -Licor sulfúrico.
- -Sílice

En la briqueta la misión del aglutinante es mantener unidas las partículas durante su secado, almacenamiento y posterior uso sin presentar problemas de desmenuzamiento.(Marticorena, 2014)

### **El almidón**

Muchos son los adhesivos que se han ensayado, pero el almidón es el más común y efectivo, siendo adecuado en alrededor del 4-8%, amasando una pasta con agua caliente, además, otro punto a su favor es que también necesita ser bastante resistente a la fermentación y el ataque bacteriano durante el almacenamiento y las fluctuaciones del mercado.

Los almidones provienen de la familia de los carbohidratos, constituidos de cadenas lineales (Amilasa) y cadenas ramificadas (Amilopectina). Los almidones son extremadamente versátiles, alcanzando una eficiencia incomparable en todas sus aplicaciones.

Como aglutinante en briquetas de materiales orgánicos, siendo uno de los mejores almidones utilizado principalmente para carbón vegetal o cascarilla de arroz, se usa en este campo por presentar muy buenas propiedades de cohesión para este tipo de material, y además de bajo costo respecto a otros aglutinantes.

Como espesante por su capacidad de hinchamiento en solución, el almidón de maíz es un espesante de bajo costo utilizado en productos alimenticios, gomas y adhesivos.(Marticorena, 2014)

### **La miel final**

La melaza es un producto líquido espeso derivado de la caña de azúcar y en menor medida de la remolacha azucarera, obtenido del residuo restante en las cubas de extracción de los azúcares. Su aspecto es similar al de la miel aunque de color parduzco muy oscuro, prácticamente negro.

Se generan en la cristalización del azúcar, contienen un 32% de sacarosa y constituyen una fuente de carbohidratos. Su naturaleza higrométrica la hace difícil de almacenar. Nutricionalmente presenta un altísimo contenido en azúcares e hidratos de carbono además de vitaminas del grupo B y abundantes minerales, entre los que destacan el hierro, cobre y magnesio. Su contenido de agua es bajo. Es utilizada en: alimentación animal (mezclada con bagazo o en forma de levadura); producción de proteínas unicelulares, alcohol etílico y levadura; cementación de pozos de petróleo.(Marticorena 2014)

### **1.2.3.2 Caracterización de los Lodos de la UEB Glucosa de Cienfuegos.**

En nuestro estudio se empleará el lodo de alimento animal, un residual de la UEB Glucosa de Cienfuegos de la planta de tratamiento de residuales como aglutinante. Por lo mencionado anteriormente el almidón como derivado de la yuca, maíz y arroz constituye un elemento fundamental como aglutinante, el lodo de los residuales de UEB Glucosa de Cienfuegos posee en su composición según la norma de calidad de residuales: 50-60% de humedad, 50-60% de materia seca, 39% de almidón 7% de proteína y un 4% de otros sólidos por consiguiente se podría utilizar como aglutinante por su contenido de almidón.

### **1.2.3.3 Aditivos o relleno.**

Además de agregar algunos aglutinantes, también se puede aplicar algún tipo de aditivo o relleno a la mezcla que se utiliza en la fabricación de briquetas de carbón vegetal, a fin de mejorar el valor del carbón vegetal como medio de cocción

Dentro de los aditivos y rellenos que han sido probados y utilizados encontramos los siguientes:

- Aserrín y astillas de madera
- Cáscaras molidas
- Aceite vegetal o mineral
- Trozos de papel
- Ceras (rápida ignición)
- Arcillas plásticas (evita formación de llamas)
- Carbonato de calcio
- Costra de tierra
- Arena (no se recomienda por su contenido de sílice, es abrasiva para el equipo)

#### **1.2.4 Análisis de las mezclas para la elaboración de briquetas**

Entre algunos ejemplos encontrados en la búsqueda y los utilizados en las investigaciones realizadas se cuenta con.

#### **Ejemplos de algunas mezclas empleadas para la formación de briquetas de carbón vegetal:**

**Ejemplo 1:** Mezclar 100 kilogramos de finos de carbón de madera con 6 kilogramos de aglutinante almidón y 35 litros de agua para conformar la briqueta.

**Ejemplo 2:** Mezclar 100 kilogramos de finos de carbón, 15 a 20 kilogramos de alquitrán, 1 kilogramo de aceite quemado de automóvil y 30 litros de agua. Para todos los casos se requiere una mezcla íntima entre el polvo (carbón), el aglutinante y el agua.

##### **1.2.4.1 Análisis de las mezclas a emplear.**

Durante la investigación realizada se determinó como aglutinante a utilizar en nuestra investigación el Lodo de la UEB Glucosa, el mismo se obtiene como resultado final del proceso de la planta de tratamientos residuales, el mismo está compuesto por agua entre un 50-60%, almidón con aproximadamente 39%, y otros componentes con

aproximadamente un 11%. A continuación se muestran los porcentos de mezclas utilizados para la investigación

**Tabla 1.1: masa de los componentes en la mezcla carbonilla- aglutinante.**

| Mezcla (%) | Masa (g)                                   | Masa total (g) |
|------------|--|----------------|
| 80-20      | 400 g de carbonilla y 100 g de aglutinante | 500 g          |
| 70-30      | 400 g de carbonilla y 172 g de aglutinante | 572 g          |
| 60-40      | 400 g de carbonilla y 266 g de aglutinante | 666 g          |

### **1.2.5 Ventajas, desventajas de las briquetas**

Es necesario realizar un análisis general de las ventajas y las desventajas que proporciona la densificación de briquetas de carbón y su utilización

#### **1.2.5.1 Ventajas de las briquetas**

- Se usa residuos de la fabricación del carbón y residuos agrícolas.
- Tiene más energía por unidad de peso que el carbón de madera.
- Fácil de transportar.
- El tamaño de la briqueta estandarizado facilita el manejo y la comercialización.
- Su uso es una alternativa para zonas de escasos recursos económicos
- Sin olores, humos, ni chispas y menor porcentaje de cenizas
- Fácil y rápido encendido, baja humedad y alta densidad
- Energía menos contaminante, 100 % ecológicas y naturales
- Fuente renovable, natural, no tóxica, sin conservantes, químicos ni aditivos.

### **1.2.5.2 Desventajas de las briquetas**

- Requiere promoción por no ser un combustible tradicional.
- Costos de inversión en equipos, proceso, intermediarios realmente altos.

### **1.2.6 Condiciones de uso de la tecnología**

#### **1.2.6.1 Clasificación**

Por el tipo de tecnología empleada se pueden clasificar en:

- Artesanales
- Semi-industriales
- Industriales

#### **Artesanales:**

En este tipo no intervienen equipos sofisticados, ya que no se necesita producir gran cantidad, es decir, que con medios primarios (caseros) se puede pensar en un molde la biomasa mezclada con algún tipo de aglutinante y secarla posteriormente para su utilización.

En este proceso lo que importa es conformar las briquetas y obtenerlas de una forma no continua, práctica y sencilla, sin ser estricto y preciso en parámetros como: proporción de mezcla entre materia prima y aglutinante, presión de compactación, tiempo y forma de secado.

La presión de compactación es baja, hasta 5 MPa en promedio, debido al uso de altas cantidades de aglutinante, que ayuda a la cohesión entre partículas del material. Se utiliza aglutinantes como estiércol de animales, papel, aserrín, almidones, arcillas, entre otras.(Cuenca 2011)

#### **Semi- industriales:**

En este tipo de proceso las presiones se encuentran en el rango de 5 a 100 MPa. El proceso de fabricación tiende a ser continuo con medianas producciones de briquetas.

Las presiones en el campo semi-industrial son mayores que en el artesanal, y debido a esto, en algunos casos la materia prima alcanza un grado de auto-aglomeración, permitiendo el uso en menores o nulas proporciones de aglutinante para la mezcla, lo que ayuda a reducir costos de producción. Debido a ello se hace necesario secar la materia prima previo al briqueteado. Un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta, es que la humedad del material debe estar en un rango del 15 al 20%.

Si la humedad es mayor, como las presiones internas al compactar son grandes el incremento de la humedad causa mayor cantidad de vapor de agua producido por la temperatura que se genera durante la compresión, por lo que la briqueta se resquebraja superficialmente al enfriarse, o puede producir una explosión que lanza la briqueta como proyectil; en el caso de un brusco incremento de humedad en el material de entrada, la explosión de vapor puede incluso dañar la prensa. Usualmente se tiene entre una a dos fases de compactado.

### **Industriales:**

Con respecto a los procesos industriales, se disponen de máquinas de altas presiones de compactado, en el orden de más de 100 MPa, y grandes niveles de producción continua. No es necesario utilizar aglutinante, sino es requisito fundamental obtener materia prima lo más seca posible, normalmente con una humedad del 5 al 15% en base húmeda, considerándose como óptima alrededor del 7 al 12% y tamaño de las partículas menor a 15 mm; a estas presiones la mezcla o materia prima se auto-aglomera por el aumento de la temperatura durante el compactado, ya que se trata de materia lignocelulósica que aporta lignina propia como aglutinante, así por ejemplo la madera al ser calentada sobre el rango de su temperatura de plasticidad que es aproximadamente 165°C, pierde su elasticidad permitiendo comprimir de manera más fácil. Generalmente se tienen varias fases de compactado.

En algunas industrias o plantas de briquetación se utilizan secadoras, trituradoras, tamizadoras, filtros y recolectores de polvos; briqueteadoras con resistencias eléctricas, esto ayuda a la auto-aglomeración sumando a esto las presiones elevadas de compactación, se obtiene briquetas de buena calidad y excelentes propiedades

mecánicas y de friabilidad que son importantes a la hora de transportarlas y almacenarlas.

#### **1.2.6.2 Propiedades de la carbonilla:**

La carbonilla fina tiene una pureza muy inferior a la del carbón vegetal en pedazos. La carbonilla contiene, aparte del carbón vegetal, fragmentos, arena mineral y arcilla, recogidos del suelo, y de la superficie de la madera y corteza.

La carbonilla pulverizada fina producida de la corteza, ramitas y hojas tiene un contenido de ceniza mayor que el carbón vegetal normal de la madera. La mayor parte de este material indeseado con alto contenido de cenizas, puede ser separado tamizando la carbonilla y descartando el material de menor tamaño, que pasa p. ej. la malla de 2 a 4 mm. Este material fino puede aún contener más del 50% de carbón vegetal según su grado de contaminación, pero, sin embargo, es difícil hallarle utilizaciones.

El material retenido sobre el tamiz consistirá mayormente en pedazos de buen carbón vegetal y, una vez machacado, puede ser aglomerado. La carbonilla fina no puede ser quemada con los sencillos métodos corrientes de quemar el carbón, por lo que son más o menos invendibles. Pero si las carbonillas pudieran ser totalmente usadas, la producción global del carbón vegetal aumentaría de un 10 a 20%. El aglomerado en briqueta - o sea, convertir la carbonilla fina en trozos de carbón - parece ser la contestación obvia. Desafortunadamente, la experiencia ha demostrado hasta ahora que, si bien es técnicamente posible hacer briquetas con carbonilla, los aspectos económicos generalmente no favorecen, a menos que el precio del carbón en trozos sea muy alto y se obtenga carbonilla a un costo muy bajo o regalado.(FAO, 1983)

#### **1.2.6.3 Métodos de Aglomeración:**

Para aglomerar en briquetas es necesario un adhesivo que se mezcle con la carbonilla, una prensa para formar un bloque o briqueta que luego será pasado por un horno de secado, para curarlo o asentarlo, evaporando el agua para que dicho bloque resulte

suficientemente resistente para ser usado en los mismos equipos de combustión del pedazo normal de carbón vegetal.

El carbón vegetal es un material que carece totalmente de plasticidad y necesita por lo tanto del agregado de una substancia pegajosa o aglomerante para que se pueda formar el bloque. El adhesivo deberá preferentemente ser combustible, si bien puede adaptarse un adhesivo incombustible, efectivo a bajas concentraciones. Se prefiere el almidón por ser combustible, si bien es comúnmente caro. Son aptas las arcillas muy plásticas, siempre que no se las emplee con más del 15%. Han sido empleados, también, el alquitrán y el betún de la destilación de carbón o de las retortas de carbón vegetal para briquetas de uso especial, pero tienen que ser carbonizados de nuevo, antes del empleo, para poder aglomerar correctamente; resultan de buena calidad, pero de producción cara.

La prensa para hacer las briquetas debe ser bien proyectada, de construcción sólida y capaz de aglomerar la mezcla de carbón y adhesivo en forma adecuada para su manipuleo durante el proceso del curado o secado. La producción de briquetas debe justificar el costo de la inversión y del funcionamiento de la máquina. Las máquinas para fabricar briquetas de carbón vegetal son, por lo general, máquinas de precisión costosa, capaces de una gran producción. Se han empleado prensas para hacer ladrillos, pero parece que para este objeto no hay máquinas comercialmente efectivas a un precio realmente bajo. El carbón vegetal es bastante abrasivo, por lo que los equipos para separar la carbonilla, moler, mezclarla con adhesivo, aglomerar, etc., deben ser resistentes al desgaste y bien diseñados

Como se ha dicho, muchos son los adhesivos que se han ensayado, pero el almidón es el más común y efectivo, siendo adecuado en alrededor del 4-8%, amasando una pasta con agua caliente. Primero, la carbonilla se seca y se tamiza. La carbonilla muy fina se rechaza y la grande se muele. Este polvo se mezcla con la pasta de almidón pasándola a la prensa para el aglomerado. Las briquetas se secan en un horno continuo a alrededor de 80° C. El almidón se asienta con la pérdida del agua, ligando el carbón en trozos que pueden ser manipulados y quemados igual que el común pedazo de carbón

vegetal en hornillos o parrillas caseras. Por lo general las briquetas no son aptas para el uso como carbón vegetal industrial en los altos hornos y cúpulas de fundición, puesto que la adhesión se desintegra al mínimo calentamiento. Por este motivo, para producir briquetas metalúrgicas de carbón vegetal, con suficiente resistencia al desmenuzamiento, se necesitarán bloques ligados con alquitrán o betún que serán luego carbonizados en carboneras. El costo es demasiado elevado en la mayoría de los países, como para que el proceso encuentre aplicación industrial.

Durante su fabricación, para tener un producto más aceptable, pueden agregarse sustancias que ayuden la combustión de las briquetas, como ceras, nitrato de sodio y otros. También, para reducir el costo de la briqueta, pueden mezclarse con la carbonilla, arcilla como adhesivo, sílice y otros. Esto por supuesto baja el valor calorífico y constituye una forma de adulteración por la que el consumidor paga, si bien podría afirmarse que la combustión mejora. Pero las briquetas bien hechas constituyen un producto aceptable y conveniente. La virtual ausencia de material fino y polvo, y su uniformidad las hacen atractivas para parrilladas. Cuando el mercado tiene altos precios se venden generalmente a casi el mismo costo por kg que el carbón vegetal en trozos, y tienen más o menos el mismo calor calorífico de un carbón vegetal comercial con el 10-15% de contenido de humedad.

Mayormente en los países desarrollados se encuentran exitosas fabricaciones de briquetas. Un ejemplo es la industria que se basa sobre la carbonización del aserrín y corteza, en el sur de los EE.UU. de N.A. empleando hornos de fundición, rotativos-múltiples, que producen quizás entre 20 Y 50 ton de carbonilla fina por día. Este carbón vegetal, una vez aglomerado, destinado a las parrilladas, puede venderse en los despachos al Por menor. Los gases del horno se queman para producir vapor para fuerza eléctrica, transformando por lo tanto el desperdicio de aserrín y corteza en dos productos útiles, energía eléctrica y briquetas de carbón vegetal. Al mismo tiempo se reducen al mínimo los problemas de la contaminación del aire y de la eliminación de desperdicios.(FAO, 1983)

#### 1.2.6.4 Aspectos económicos

El costo de la fabricación de briquetas depende fundamentalmente de tres factores: el costo de la carbonilla fina entregada sobre la planta lista para ser procesada, el costo del adhesivo y los costos de capital. Las carbonillas que normalmente tienen poco valor, para justificar la inversión en una planta de briquetas son tratadas con un valor cero. Ello sin embargo no es cierto porque para abastecer la plancha con carbonilla desde su fuente, alta cercana, se gasta dinero. Si no toda la carbonilla deriva de recuperaciones manejadas por la industria de briquetas, se hallará que el precio de la carbonilla aumenta regularmente apenas las briquetas aparecen en el mercado. El adhesivo preferido es el almidón, que es un alimento que cuesta alrededor de diez o más veces el costo del carbón vegetal bruto en trozos al costado del horno. Por lo tanto, ya que se necesita agregar del 4 al 8% a la carbonilla, para hacer las briquetas de almidón resulta ser un rubro muy importante de costo. Las fabricaciones exitosas de briquetas, como las que funcionan en los Estados Unidos y en otros países desarrollados, dependen de la coincidencia favorable de factores que generalmente no se presenta en los países en vía de desarrollo, y que son:

- ✓ Un mercado establecido para combustible casero tipo parrillada de alto precio.
- ✓ Capacidad de producir carbonilla fina para briquetas a un costo muy bajo, cerca de los principales mercados y en volúmenes estables durante todo el año.
- ✓ Un volumen elevado de ventas apropiado para absorber la producción potencial de la planta.
- ✓ Suficiente capital para buen equipo y mano de obra hábil para el funcionamiento y la manutención.
- ✓ Un método adecuado de mercadeo, empaque y de distribución que permita al producto alcanzar adecuada penetración en el mercado a precios satisfactorios.

Se puede decir en general, y esto está respaldado por la falta de fabricación exitosa en el mundo en desarrollo que, es mejor concentrar la atención en la producción eficiente de carbón vegetal a partir de la leña esforzándose en obtener el máximo rendimiento de la conversión y una mínima generación de carbonilla, manipulando correctamente el producto. Además, la producción que usa sencillas carboneras de ladrillo, pide pocas

componentes de importación, mientras que las maquinarias para hacer briquetas son normalmente rubros importados costosos. Los costos de capital se transforman en un drenaje de la rentabilidad, a menos que se pueda mantener la planta de briquetas funcionando todo el año y en plena capacidad de producción.(FAO, 1983)

#### **1.2.6.5 Modelos matemáticos de la densificación.**

A pesar de que el proceso que se llevara a cabo para la fabricación de las briquetas de carbón vegetal es nombrado aglomeración, luego de terminar el proceso de mezclado del polvo con el aglutinante, esta mezcla pasa a un proceso de densificación por ello son válidos los estudios realizados al respecto y debido a que en este informe se hará énfasis en este último ya que es la razón de ser de las briqueteadoras se utilizarán modelos matemáticos relacionados con este de manera directa.

Las propiedades de mayor influencia en la densificación de estas mezclas son las características mecánicas de las partículas sólidas. El mecanismo de densificación de materiales diferentes es distinto para cada cual. En el estudio se representan dos ecuaciones fundamentales para la densificación, la de B.P Fundora y la de S. Sokhansanj. Se analiza el trabajo del científico anterior por razón de su valor científico en términos de su experimental exactitud.

#### **1.2.6.6 La ecuación de densificación.**

El procedimiento de densificación se considera en dos etapas:

1. La primera etapa es la fase principal de compresión, en la que se forma una briqueta que alcanza una densidad semejante a la necesaria.
2. La segunda etapa es la de formación y expulsión de las briquetas.

Fundora, P utilizó un modelo matemático-exponencial, que satisface adecuadamente los requerimientos de la tendencia experimental y que puede ser extrapolado para valores de los parámetros fundamentales, fuera del rango experimentado y toma en cuenta la influencia e interacción de otros parámetros de la sustancia y del proceso de densificación respectivamente.

La formulación del modelo teórico propuesto <sup>[5]</sup>.

$$\rho = a - b \cdot e^{-c \cdot P} \dots \dots \dots (kg/m^3) \quad (1.1)$$

Donde:

$a$  ... ..Representa la densidad límite ( $\rho_1$ ), en  $kg/m^3$ , cuando la presión sobre la mezcla tiende a un valor muy elevado.

$b$  ... ..Representa el rango de densidades que puede alcanzar la mezcla sometida a presión ( $kg/m^3$ ).  $b = \rho_1 - \rho_0$  Siendo:  $\rho_1$  densidad ( $kg/m^3$ ) para una presión que tiende al infinito.

$\rho_0$  ... ..Densidad inicial de la mezcla natural ( $kg/m^3$ )

$c$  ... .. Es una constante dimensional, que toma en consideración el material y su estado, así como las condiciones iniciales y finales del proceso de densificación. Su valor influye en la forma de la característica de la densidad-presión, acercándola o no a la forma del modelo experimental.

$$c = \frac{k_0 - \rho_0}{\rho_1 - \rho_0} \dots \dots \dots MPa^{-1} \quad (1.2)$$

$K_0$  ... .. Constante de compresibilidad para  $P = 0$  (comienzo de la respuesta elástica de la mezcla)  $MPa^{-1}$

Como puede observarse, es un modelo formado por dos funciones matemáticas:  $Y_1 = a$ ;  $Y_2 = b \cdot e^{-c \cdot P}$ ; que al sumarse algebraicamente, producen una función con semejante tendencia que la función experimental. Sin embargo, es una función aproximada. La exactitud queda determinada por un proceso matemático de regresión lineal del modelo teórico exponencial linealizado que tiene como objetivo fundamental, determinar los valores de las constantes dimensionales  $a, b$  y  $c$ , buscando el valor de la constante  $a$ , que mejores índices estadísticos proporcione, considerando la densidad correspondiente a cada presión analizada, así como los valores de ésta.

### 1.2.6.7 Compresibilidad (K)

$$K = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dP} \quad (1.3)$$

Sabemos:

$$\rho = a - b \cdot e^{-c \cdot P}$$

Así que:

$$\frac{d\rho}{dP} = b \cdot c \cdot e^{-c \cdot P} \quad (1.4)$$

Por lo que:

$$K = \frac{b \cdot c \cdot e^{-c \cdot P}}{a - b \cdot e^{-c \cdot P}} \dots \dots \dots MPa^{-1} \quad (1.5)$$

Cuando  $P = 0 \Rightarrow K_0 = \frac{b \cdot c}{a - b} \dots \dots \dots MPa^{-1}$

El módulo de elasticidad ( $E$ ):

$$E = \frac{1}{K} \dots \dots \dots (MPa) \quad (1.6)$$

Linealizando el modelo teórico, tenemos:

$$\ln(a - \rho) = \ln(b) - c \cdot P \quad (1.7)$$

O sea una función del tipo:

$y = A + bx$ ; Donde  $y = \ln(a - \rho)$ ;  $A = \ln b$ ;  $B = -c$  y  $x = P$



**Figura 1.1 Ejemplo de polvo carbón vegetal**



**Figura 1.2 Ejemplo de briquetas de carbón vegetal**

### 1.3 Máquinas utilizadas para la fabricación de briquetas o briqueteadoras

Los dos tipos comunes de máquinas briqueteadoras que se encuentran funcionando en los países desarrollados son de husillo sin fin y prensa de pistón. Los tornillos sin fin fueron inventados en Japón y en Estados Unidos en el año 40. Se ha extendido a países como Corea, China, Taiwán, Vietnam, Tailandia, Filipinas, Bangladesh, etc. La prensa de pistón es popular en países como Brasil, India y África. Mientras que estas máquinas están construidas en Brasil e India, en África están importada.

#### 1.3.1 Países que emplean el uso de máquinas briqueteadoras

**China:** La tecnología de densificación de tornillo sin fin es muy maduro en China, mientras que el uso de prensas de pistón está en desarrollo. La capacidad de las máquinas de tornillos está entre 100-120 *kg/h*. Las materias primas más comunes son cascara de arroz, paja de arroz, aserrín de madera y residuos agrícolas. Casi la mitad de las briquetas producidas están utilizadas como combustibles para las calderas.

**India:** Casi 70 máquinas briqueteadoras fueron instaladas en el año 1995; desde aquel tiempo el uso de la briqueta ha aumentado. Las máquinas comunes son los tornillos sin fin y las prensas de pistón. Tiene aproximadamente 150 máquinas de tornillo instalados con una capacidad entre 400-2 000 *kg/h* y alrededor de 60 máquinas de prensas. En Rajastyan hay tres plantas con una capacidad combinada de 45 000 toneladas al año. En este momento se están construyendo 14 fábricas con una capacidad combinada de 200 000 toneladas al año.

**Myanmar:** Al principio del año 1990 había solo uno fabricante que diseño una máquina de 10 hp. Antes de 1995 el vendió 10 de sus máquinas.

**Nepal:** En el año 1982 se instaló una planta con una capacidad de 90 *t/año*. En el año 1984 se instaló 2 plantas mas con capacidad de 1 200 y 1 400 *t/año* respectivamente.

**Tailandia:** Tiene un total de 44 máquinas con una capacidad de 100 *kg/hr*, 9 de ellos densifican cascara de arroz, 7 densifican aserrín y los demás funcionan con otras materias orgánicas.

**África:** Hay un gran interés en la producción de briquetas en África. Existen plantas de producción másica en Etiopia, Kenia, Malawi, Uganda, Sudan, Zambia y Zimbabue. Algunos países como Cameron, Eritrea, Ghana, Ruanda, Senegal y Tanzania tienen plantas pero no son de producción másica.

ABC Hansen, una compañía de Demarque tiene 19 plantas en los países africanos, por ejemplo en; Burkina Faso, Eritrea, Gambia, Ghana, Kenia, Nigeria, Ruanda, Sudan, Zambia y Zimbabue.

**Brasil:** En Sao Paulo, Brasil se consume más que treinta mil toneladas de briquetas mensualmente. En el año 2002, la producción anual de briquetas estaba por encima de un millón de toneladas.

**En el norte de América (Estados Unidos y Canadá) y Suecia:** se producen 680 mil y 470 mil toneladas de pellets de aserrín anualmente. Además Suecia importa más que 1 millón de toneladas de briquetas anualmente. Estados Unidos tiene más que 60 empresas que producen briquetas. En el año 2002 la estimada producción en Austria, Demarque y Noruega estaba cuarenta uno mil, ciento cincuenta mil y veinte mil toneladas respectivamente. En Finlandia se producen más que noventa mil toneladas de briquetas anualmente.

### **1.3.2 Características de las tecnologías de densificación más utilizados**

Las máquinas para densificar las biomásas están clasificados por su mecanismo principal de compresión. Hasta ahora, se han diversificado entre tres grupos; prensas, husillo y de émbolos.

#### **Briqueteadora mecánica de prensa:**

Fueron las primeras máquinas utilizadas en el proceso de densificación, activadas anteriormente por máquinas de vapor. Un embolo se encarga a llevar la materia prima

al tubo de alimentación donde un mecanismo de biela manivela realiza el trabajo de compactación. Las briquetas producidas eran generalmente másicas con una densidad entre 1 000- 1 204  $kg/cm^3$ . Se puede destacar que el diámetro de la briketa que se produce, determina el gasto energético. Son las máquinas más difundidas después el husillo.

### **Briketeadora mecánica de husillo:**

Realiza su función al movimiento continuo de un husillo cilíndrico o cónico con un conducto de similares características, que en su extremo dispone de unas o varias salidas calibradas. Por la elevada fricción entre la superficie del husillo y la biomasa además de su interacción con el cuerpo, se generan temperaturas que alcanzan los 250-300 °C, por lo cual requiere de enfriamiento a la salida, para la garantía de la estabilidad de la briketa producida.

Como exigencia para el adecuado funcionamiento de esta tecnología es requisito indispensable:

- I. La granulometría de la materia no debe superar los 10 mm.
- II. La humedad nunca debe superar el 15 %; comúnmente entre 8-15%.

Estas condiciones garantizan que la materia fluya como una sustancia plástica y pueda ser sometida a pasar por diferentes calibres o alrededor de un dado cilíndrico, para formar una briketa tubular. Los niveles de presión, superan los 150 MPa y las densidades pueden oscilar entre 1200-1400  $kg/cm^3$ .. Estas máquinas son productivas pero el gasto de energía puede alcanzar entre 50-70  $kWh/T$ .

### **Briketeadoras hidráulicas de émbolos:**

Son las máquinas que ocupan el espacio dejado por las máquinas de husillo y la mecánica de émbolo. La forma de producir la briketa las hace comparables a las mecánicas de émbolo; pero el modo gradual y sin golpes de funcionamiento, las acerca a las máquinas de husillo. Además, en muchas cualidades supera a una y a otras, al tener la capacidad de asimilar materias primas de disímiles cualidades, con elevada granulometría y humedad que puede llegar hasta 28 %. Sus consumos energéticos son muy inferiores a las anteriormente analizadas. Las recomiendan para usos tales

como: reducir volúmenes en la transportación de residuos y para usos comparables con las otras tecnologías.

### 1.3.3 Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de densificación.

La siguiente tabla 1.2 demuestra las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías de densificación. Se analizan las diferentes máquinas briqueteadoras en el mundo desde el punto de vista; fiabilidad, económico y su contribución tecnológica.

**Tabla 1.2 Comparación entre diferentes tipos de briqueteadoras**

| Hidráulica   | Mecánica de émbolo   | Mecánica de husillo  |
|--|--|--|
| Gasto bajo de energía depende de la presión del sistema hidráulico (20-30 kWh/t).  | Gasto elevado de energía, que crece con el incremento de la sección transversal de la briqueta (35-45 kWh/t)   | Posee un muy elevado gasto de energía (50-75 kWh/t).   |
| Son máquinas flexibles por lo que se adaptan a variaciones de las materias primas. Aceptan cualquier granulometría y humedades hasta 28 %. | Las características de las materias primas, la granulometría y la humedad son factores que deben ser muy controlados, pues no aceptan cualquier valor. La granulometría es la recomendada por el fabricante, y la humedad no debe superar el 15 %. | Admiten granulometría hasta 80 mm, humedad entre el 15 al 17 %. Son menos sensibles al tipo de materias primas, debido a que al usar algunas diferentes a las que el fabricante propone, puede provocar acelerado deterioro de las partes de la máquina. Sin embargo, para estos casos se propone el precalentamiento entre 110-140°C. |
| Las tecnologías que se comercializan actualmente, resultan relativamente costosas (180-350 USD/(kg/h))                                     | Son máquinas cuyo costo es inferior a los precedentes pero varía según la capacidad de producción. Oscila entre 80-180 USD/(kg/h)  | Los índices de costos son los menores de todas las tecnologías analizadas (50-100 USD/(kg/h)). Sin embargo, los costos de mantenimiento y reparación de las partes fundamentales son muy elevados.   |
| Producen briquetas de media densidad y baja calidad, macizas, con dimensiones promedios de 40-140 mm de                                    | Las briquetas presentan adecuada calidad, sus dimensiones son de 250 mm de diámetro y longitudes entre 400-450 mm. La durabilidad de las briquetas en presencia de humedad   | Briquetas de muy alta calidad, lisas y sin poros con densidades entre 1400-1500 kg/m <sup>3</sup> y dimensiones entre 40-110 mm de diámetro con longitudes de 110-300 mm. Son menos sensibles a los  |

|   |  |   |
|---|--|---|
| diámetro y densidades de 600-1100 kg/m <sup>3</sup> . Su durabilidad es alta. | alta, es de horas. Densidad 1000-1200 kg/m <sup>3</sup> .      | cambios de humedad que los casos anteriores.                |
| Se pueden producir múltiples briquetas de forma simultánea.                   | Solamente se produce una briqueta por cada carrera del émbolo. | Se pueden producir múltiples briquetas de forma simultánea. |

### **Conclusión de la comparación establecida en la tabla 1.2**

Después de un complejo, pero profundo análisis y debido a los requerimientos necesarios se llegó a la conclusión de que a pesar de ser la tecnología con menos campo de estudio se dedicara la investigación a las briqueteadoras hidráulicas, específicamente las que son accionadas por cilindros hidráulicos para realizar las fases de la compactación y formación de la briqueta. Las razones principales de la selección estarán expuestas a continuación:

1. Fácil acceso a todos los materiales necesarios para la fabricación de la misma.
2. El acabado de las piezas utilizadas en su fabricación no requiere de una gran calidad.
3. Cumple con los requerimientos de terminación de las briquetas para su comercialización (50 mm de diámetro, longitud de 70 a 100 mm y densidades superiores o cercanas a los 1000 kg/m<sup>3</sup>).
4. El consumo de energía es bajo facilitándose su utilización en nuestro país.
5. A pesar de que el costo de fabricación es alto tiene larga durabilidad o vida útil.
6. La producción es alta debido a la posibilidad de producir varias briquetas simultáneamente.
7. Son adaptables a varios diseños y propiedades de las materias primas sin que sea afectada su funcionalidad y su resistencia al desgaste.

#### **1.3.4 Actualidad de las máquinas briqueteadoras.**

En la actualidad la fabricación y diseño de las máquinas briqueteadoras se ha convertido en una necesidad y la guerra por sacar a la venta el mejor producto lleva a

que cada día estas se perfeccionen más y las calidades, cualidades productividad hallan aumentado, así como los precios se han vuelto cada vez más lógicos y accesibles. Es extremadamente difícil encontrar los métodos de investigación empleados por estas empresas para la construcción de sus briqueteadoras, solo se hace fácil encontrar ofertas con precios y en algunos casos con propaganda y productividad. Por esta razón se dificulta el diseño de la máquina ya que las bibliografías son escasas y cada empresa está centrada en su propia investigación. En el anexo 1 se podrá encontrar algunas de estas máquinas que se van perfeccionando con el tiempo, donde se podrá ver su variedad de diseños y formas.

## **1.4 Teoría Del Diseño**

### **1.4.1 Criterios de Diseño**

- I. Diseñar una máquina capaz de ser flexible desde el punto de vista de sus posibilidades, como de la disponibilidad de materiales.
- II. Brindar facilidad en el montaje y desmontaje.
- III. Construir una máquina invariable y lograr intercambiabilidad con las herramientas vinculadas al proceso de compactación.
- IV. Bajo costo de fabricación y posibilidad de mejorar los índices de costo, al utilizar todos los cilíndricos hidráulicos.
- V. Apta para ser usada en cualquier tipo de mezcla
- VI. Posibilidad de aceptar determinadas magnitudes de desgaste de las herramientas para la densificación, sin afectaciones sensibles en la calidad de la briqueta.

### **1.4.2 Justificación del diseño.**

Los análisis de las diferentes tecnologías de densificación y sus ventajas, costos, gastos energéticos, posibilidades de densificar estas mezclas entre polvo de carbón y un aglutinante más los antecedentes en el diseño, nos preparan para desarrollar otra tecnología; las máquinas briqueteadoras hidráulicas con cilindros hidráulicos.

Con esta tecnología, nueva a esta región (América del sur, América Latina y el Caribe), no se pierda en vacío ninguno de las carreras del cilindro. La presión del sistema hidráulico de las tecnologías de este tipo, no depende de la sección transversal de la briqueta producida. El gasto de la energía depende de la presión y el flujo de sistema hidráulico. Las máquinas hidráulicas permiten garantizar más estabilidad de la briqueta producida, y resuelve los problemas de las máquinas predecesores. Como es de suponer la profundización de este estudio de esta nueva innovación puede dar la respuesta definitiva a las máquinas de densificación.

### **1.4.3 Generalidades sobre el diseño de máquinas**

El diseño es un proceso de creación de las máquinas en forma de documentos (generalmente, dibujos) que se lleva a cabo de base de cálculos teóricos, prácticas de construcción, tecnología y de explotación, así como también de experiencias. El diseño lleva muchas versiones. En caso general, la óptima es tal versión que permite obtener los índices necesarios de trabajo con un gasto mínimo de trabajo social.

El diseño de máquinas se realiza por fases, lo que permite controlar y aprobar los proyectos en diferentes etapas de elaboración. En las fases principales del diseño de máquinas se elaboran los documentos que siguen:

- I. Especificaciones técnicas: Se hacen para un proyecto de máquinas que entran en la nomenclatura principal de las máquinas de fabricación en serie y en masa.
- II. Anteproyecto: Comprende el desarrollo en croquis de las vistas generales de los conjuntos principales.
- III. Proyecto de contrato: Comprende las vistas generales definitivamente desarrolladas de la máquina y de sus conjuntos, lista para el despiece.
- IV. Proyecto de ejecución: Es un conjunto de vistas generales, dibujos de taller de las piezas, especificaciones y otros documentos, suficiente para la fabricación de la máquina.

Al terminar el diseño es necesario preocuparse por la estética técnica. Entre los conceptos de belleza, desde el punto de vista ingenieril, y de racionalidad estructural. Las estructuras racionales parecen bellas y las bellas resultan racionales.

#### **1.4.4 Cálculo de las piezas de las máquinas durante el diseño**

A fin de determinar preliminarmente las medidas de las piezas se emplean los cálculos convencionales simplificados. Las piezas de máquinas tienen que satisfacer la condición de fiabilidad-conservando sus índices de explotación y debe tener el costo mínimo necesario de producción y de explotación. Por eso es importante utilizar los materiales más adecuados teniendo en cuenta su costo y déficit. Los criterios de cálculo más importante que se toman en consideración en el análisis de las piezas son:

Resistencia mecánica

Rigidez

Resistencia al desgaste

Resistencia al cambio de la temperatura

Resistencia a las vibraciones.

Como definitivos se emplean los cálculos por criterios de capacidad de trabajo y fiabilidad que reflejan con bastante exactitud los fenómenos físicos que se manifiestan durante el funcionamiento de las máquinas.

En los últimos tiempos, muchos cálculos de las piezas se llevan a cabo con calculadoras y computadoras electrónicas digitales, incluso los cálculos de las piezas a fabricar de acuerdo con programas normalizados, cálculos complejos que son difíciles o imposibles para el cálculo a mano, y confección de tablas de cálculos.

#### **1.5 Conclusiones parciales**

1. Las máquinas briquetadoras hidráulicas en muchas cualidades supera a otras máquinas de aglomeración en el mercado comercial, al tener la capacidad de asimilar mezclas de disímiles cualidades, con elevada granulometría, humedad y temperatura. Sus consumos energéticos son muy inferiores y demuestran un alto rendimiento de producción, con la posibilidad de producir briquetas que aseguran su competitividad con el resto de las tecnologías de aglomeración.
2. Es importante entender el mecanismo fundamental del proceso de aglomeración del carbón vegetal y las variables para lograrlo. Razón que, dan los datos necesarios para diseñar máquinas briquetadoras eficientes y se aumenta la calidad de la producción (de briquetas y máquinas).

3. En la literatura no se reporta la existencia de máquinas briqueteadoras hidráulicas para producir briquetas de carbón vegetal, aunque existen aplicaciones donde se utilizan dichas briquetas.

## **CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA BRIQUETEADORA HIDRÁULICA PARA PRODUCIR BRIQUETAS DE CARBÓN VEGETAL.**

### **2.1 Características de las mezclas de carbón vegetal en el proceso de aglomeración**

Los siguientes experimentos fueron realizados para determinar el comportamiento o características físicas de las mezclas con vista a la aglomeración.

#### **2.1.1 Metodología de la investigación**

Con la finalidad de obtener un modelo matemático que se ajuste al comportamiento de la mezcla de carbón vegetal durante la aglomeración, se establecerá una metodología que garantice el desarrollo exitoso de la investigación y una mejor optimización durante la experimentación. Para ello se establecerá una serie de pasos y procedimientos que garantizarán la investigación.

#### **2.1.2 Experimento para determinar la densidad natural de la mezcla de carbón vegetal**

Título: Experimento para determinar la densidad natural de las mezclas de carbón vegetal.

Objetivo: Determinar la densidad inicial (natural).

Tipo de materias primas: mezcla formada por polvo de carbón vegetal y lodo de la UEB Glucosa como aglutinante.

Condiciones iniciales de la mezcla: Se encuentra dentro de los parámetros recomendados.

Para determinar la densidad natural de la mezcla de carboncillo con un aglutinante primero se determinará una técnica operatoria para luego ponerla en práctica donde se realizarán tres mediciones para luego hallar un promedio aproximado.

#### **2.1.3 Técnica operatoria para determinar la densidad natural de la mezcla**

Pasos a seguir:

- I. Tomar las dimensiones del tubo.
- II. Colocar el tubo sobre la placa que sirve de base.
- III. Introducir la mezcla en el tubo sin presionar, hasta que este alcance la altura H del tubo.
- IV. Tomar un recipiente, pesarlo en la balanza y tomar el valor de su masa ( $m_1$ ).
- V. Descargar dentro del recipiente la mezcla ocupada en el tubo.
- VI. Pesar el recipiente cargado de mezcla, tomar este valor sumario de la masa ( $m_t = m_1 + m_2$ ).
- VII. Determinar la diferencia de peso ( $m_2 = m_t - m_1$ )
- VIII. Determinar el volumen del tubo ( $V = \frac{\pi.D^2}{4}.L$ ) en  $m^3$ .
- IX. Determinar la densidad natural de la mezcla ( $\rho = \frac{m}{v}$ ) en  $kg/m^3$

Donde:

$m_2$  ... .. Masa de la mezcla en (kg)

$v$  ... .. Volumen del tubo en  $kg/m^3$ .

#### Instrumento de medición

- I. Balanza digital de precisión (0,1g).

#### Dispositivo utilizado

- II. Tubo de acero.

**Tabla 2.1 Resultado de la densidad natural**

| Muestras | Masa de la mezcla ( kg ) | Volumen del tubo $m^3$ | Densidad natural (kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| 1        | 0,034                    | 0.00008                | 425                                   | 426,67                                 |
| 2        | 0,0345                   |                        | 431,25                                |  |
| 3        | 0,0339                   |                        | 423,75                                |  |

#### 2.1.4 Técnica operatoria para determinar el coeficiente de fricción de la mezcla de carbón vegetal y lodo de la UEB Glucosa.

Pasos a seguir:

1. Utilizar una superficie plana con rugosidad semejante al material de los tubos de salida.
2. Verter mezcla en la superficie hasta que deje de aumentar la altura del cono formado.
3. Medir la altura alcanzada y el diámetro de la circunferencia base del cono.
4. Determinar la tangente del ángulo formado entre la base y generatriz del cono.

### **Descripción del experimento.**

Se utiliza una superficie metálica con rugosidad semejante a la de los tubos de salida, se comienza a verter la mezcla hasta que esta deja de subir y se procede a realizar las mediciones de altura y diámetro. Estos valores se utilizarán después para determinar la tangente del ángulo base del cono formado y ese será el coeficiente de fricción que existirá entre la mezcla y la superficie de los tubos de salida de las briquetas.

### **Medidas obtenidas.**

Altura: 28 mm

Diámetro base: 74 mm

### **Cálculo del coeficiente.**

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{D/2}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{28}{74/2}$$

$$\tan(\alpha) = 0.75$$

## **2.1.5 Experimento para determinar el comportamiento de la densidad en un proceso uniaxial de deformación**

### **2.1.5.1 Metodología para el experimento**

Sustancia a densificar: Mezcla formada por carboncillo o polvo de carbón vegetal y lodo como aglutinante.

Parámetros a controlar: Presión.

Factores a medir: Densidad.

### 2.1.6 Descripción del experimento

El dispositivo de la figura 2.1, está formado por una prensa hidráulica universal de un solo montante, con un regulador de la presión y con un cilindro de 90 mm, que es conectado a un vástago macizo de 35 mm, este entra en otro vástago que contiene un agujero en su centro de 37 mm en el cual estará contenida la mezcla de carbón vegetal y aglutinante, en su parte inferior presenta una superficie plana sellando así la salida en ese extremo, la cantidad de mezcla debe corresponderse aproximadamente con la de una briqueta. Luego de ser aplicada la presión controlada es retirada la superficie plana y se procede con una segunda aplicación de presión para extraer la briqueta formada proceso similar al que se desea obtener. Se midieron tres valores de la presión en el manómetro de la prensa, que fue convertida a presión sobre la briqueta, por la ecuación:

$$P_{briq} = \frac{P_{cil} \cdot D_{cil}^2}{D_{briq}^2} \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{briq}$  ... .. Representa la presión sobre la briqueta, en MPa

$P_{cil}$  ... .. La presión en el cilindro hidráulico de la prensa registrada en el manómetro.

$D_{briq}$  ... .. Diámetro exterior de la briqueta

$D_{cil}$  ... .. Diámetro interior del cilindro hidráulico

También se midió la longitud de la mezcla aglomerada en el interior del conducto para cada valor de la presión, todo lo cual hizo posible la determinación de la densidad para cada valor de la presión. Se realizaron 3 réplicas en cada medición. Es importante señalar que para producir las briquetas cilíndricas en este tipo de instalación se hace imprescindible la utilización de varios dispositivos.

#### 2.1.6.1 Máquinas y dispositivos utilizados

- I. Prensa hidráulica.
- II. Vástago cilíndrico macizo de 35 mm de diámetro.
- III. Vástago cilíndrico con un agujero en su centro de 37 mm.

## Instrumentos de medición

- I. Balanza digital -precisión 0,1 g.
- II. Pie de Rey (precisión 0,05 mm).

### 2.1.7 Análisis del modelo de comportamiento de la función exponencial para la densificación.

Utilizando el procedimiento empleado para la definición del modelo de comportamiento de la densidad en un proceso de densificación, con la presión de compactación; se procedió a la reducción de los experimentos a tres corridas experimentales, tal simplificación obedece al comportamiento lineal de la densidad de las mezclas de carbón vegetal respecto a la presión de compactación, en el rango de (0 a 100) MPa y a la coincidencia de los modelos lineales ( $\rho_{(P)} = K \cdot P + \rho_0$ ) con el modelo exponencial ( $\rho_{(P)} = a - b \cdot e^{-c \cdot P}$ ) definido anteriormente, donde además son coincidentes los valores de la densidad  $\rho_{(P)}$  cuando la variación de presión ( $P$ ) es cero ( $\rho_{(P)} = \rho_0$ ), que representa el intercepto del diagrama densidad – presión, para cualquiera de los dos modelos utilizados.

Partiendo de la ecuación de la recta que pasa por dos puntos coordenados de los correspondientes parámetros.

Se puede plantear.

$$\frac{\rho - \rho_1}{P - P_1} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \quad (2.2)$$

Donde:

$\rho_2$  y  $\rho_1$ - Representan las densidades medias determinadas para dos valores de la presión entre (0 – 100) MPa [ $kg/m^3$ ]

$P_2$  y  $P_1$ - Valores de las presiones correspondientes [MPa].

$$\rho_{(P)} = \left( \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot P + \left[ \rho_1 - \left( \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot P_1 \right] \quad (2.3)$$

$$\rho_{(P)} = m \cdot P + \rho_0$$

Donde:

$$m = \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \quad (2.4)$$

$$\rho_0 = \rho_1 - m \cdot P_1 \quad (2.5)$$

En el modelo exponencial

$$\rho_{(P)} = a - b \cdot e^{-c \cdot P} \quad (2.6)$$

Se definió:  $\rho_0 = a - b$

Dónde: a - Representa el límite máximo de la densidad que pueden alcanzar las briquetas.

Se considera:

$a = 1500 \text{ kg/m}^3$  Para presiones hasta 100 MPa.

$b \dots \dots \dots$  Intervalo de definición de función exponencial ( $\text{kg/m}^3$ )

Si se utiliza en la definición de los modelos Físicos – Matemáticos, el valor del límite máximo de la densidad que se sugiere; ( $a = 1500 \text{ kg/m}^3$ ) y el valor de ( $\rho_0$ ) definido por el modelo lineal, determinado según el experimento con tres presiones diferentes entre (0 – 100) MPa; ello permite determinar la constante dimensional ( $b$ ) del modelo exponencial para las briquetas, en las condiciones del experimento mostrado

$$b = a - \rho_0 \dots \dots \dots \text{ kg/m}^3 \quad (2.7)$$

Además la constante dimensional ( $c$ )

$$c = \frac{\ln\left(\frac{b}{a - \rho_1}\right)}{P_1} \dots \dots \dots \text{ MPa}^{-1} \quad (2.8)$$

Los valores de las constantes dimensionales ( $a, b, c$ ) para las briquetas de carbón vegetal satisfacen el modelo exponencial ( $\rho_{(P)} = a - b e^{-c \cdot P}$ ).

### 2.1.8 Análisis de los resultados obtenidos en el experimento

Para realizar los experimentos se tomaron muestras de tres composiciones de mezclas diferentes basándose en la bibliografía y las tesis relacionadas donde expresa que el porcentaje de carbón debe oscilar entre 60% y 90% aproximadamente y a cada una se le aplicaron tres presiones controladas obteniendo los siguientes resultados.

En la **tabla 2.2** se definen las presiones críticas que se pueden ejercer sobre cada composición de mezcla sin que se vea afectado el porcentaje de agua en estas y teniendo en cuenta el agrietamiento de la superficie de la briqueta lo cual puede provocar un aumento considerable de la resistencia mecánica de la misma.

Posteriormente se procede a determinar las que serán las presiones sobre la briqueta a controlar en cada una de las corridas (28,8 MPa, 43,2 MPa y 57,6 MPa) en función de las capacidades de la prensa que en estos casos estaba aplicando presiones de 50 kg/cm<sup>2</sup>, 75 kg/cm<sup>2</sup> y 100 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

En las **tablas 2.3, 2.4 y 2.5** se muestran los resultados obtenidos durante los experimentos en cada una de las corridas y en la tabla 2.6 observamos un resumen de estos resultados. Se procede a descartar los resultados obtenidos con la composición de 60% de carbón y 40% de lodo pues esta contiene más cantidades de aglutinante y los resultados obtenidos no son los más apropiados además de poseer una presión crítica sobre la briqueta muy baja provocando que al aplicar las presiones necesarias esta sufra agrietamiento o pérdida de líquido lo cual es perjudicial en el proceso de aglomeración.

Entre las mezclas restantes se elegirá para el modelo matemático los resultados obtenidos con la composición de 70 % de carbón vegetal y 30 % de aglutinante por presentar las características más aceptadas en cuanto a la densidad obtenida.

**Tabla 2.2: Determinación de las presiones críticas para la mezcla carbonilla-lodo.**

| Mezcla (%) | Presión (MPa) |
|------------|---------------|
| 80-20      | 72            |
| 70-30      | 50            |
| 60-40      | 26            |

**Tabla 2.3: Determinación de la de densidad a la briqueta carbonilla-lodo con composición 80-20(%).**

|          | peso(g) | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Volumen (mm <sup>3</sup> ) | Densidad (g/mm <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad promedio |
|----------|---------|---------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 28.8 MPa |         |               |             |                            |                               |                               |                   |
| 1        | 43,67   | 37            | 39          | 41911,9                    | 0,001041947                   | 1041,95                       |                   |
| 2        | 39,77   | 37            | 34          | 36538,6                    | 0,001088438                   | 1088,44                       | 1019,06           |

|          |       |    |    |         |             |         |         |
|----------|-------|----|----|---------|-------------|---------|---------|
| 3        | 29,88 | 37 | 30 | 32240,0 | 0,0009268   | 926,80  |         |
| 43.2 MPa |       |    |    |         |             |         |         |
| 1        | 43,12 | 37 | 34 | 36538,6 | 0,001180122 | 1180,12 |         |
| 2        | 28,42 | 37 | 28 | 30090,6 | 0,00094448  | 944,48  | 1036,24 |
| 3        | 30,67 | 37 | 29 | 31165,3 | 0,000984108 | 984,11  |         |
| 57.6 MPa |       |    |    |         |             |         |         |
| 1        | 29,98 | 37 | 28 | 30090,6 | 0,000996324 | 996,32  |         |
| 2        | 32,14 | 37 | 29 | 31165,3 | 0,001031276 | 1031,28 | 1060,09 |
| 3        | 39,64 | 37 | 32 | 34389,3 | 0,001152685 | 1152,68 |         |

**Tabla 2.4: Determinación de la de densidad a la briqueta carbonilla-lodo con composición 70-30(%).**

|          | peso(g) | Diámetro<br>(mm) | Altura<br>(mm) | Volumen<br>(mm <sup>3</sup> ) | Densidad<br>(g/mm <sup>3</sup> ) | Densidad<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad<br>promedio |
|----------|---------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 28.8 MPa |         |                  |                |                               |                                  |                                  |                      |
| 1        | 28,35   | 37               | 30             | 32239,95                      | 0,000879                         | 879,34                           |                      |
| 2        | 30,15   | 37               | 32             | 34389,28                      | 0,000877                         | 876,73                           | 845,81               |
| 3        | 28,55   | 37               | 34             | 36538,61                      | 0,000781                         | 781,37                           |                      |
| 43.2 MPa |         |                  |                |                               |                                  |                                  |                      |
| 1        | 30,80   | 37               | 30             | 32239,95                      | 0,000955                         | 955,34                           |                      |
| 2        | 31,46   | 37               | 31             | 33314,62                      | 0,000944                         | 944,33                           | 918,15               |
| 3        | 26,64   | 37               | 29             | 31165,29                      | 0,000855                         | 854,80                           |                      |
| 57.6 MPa |         |                  |                |                               |                                  |                                  |                      |
| 1        | 27,02   | 37               | 25             | 26866,63                      | 0,001006                         | 1005,71                          |                      |
| 2        | 26,68   | 37               | 24             | 25791,96                      | 0,001034                         | 1034,43                          | 1023,60              |
| 3        | 27,69   | 37               | 25             | 26866,63                      | 0,001031                         | 1030,65                          |                      |

**Tabla 2.5: Determinación de la de densidad a la briqueta carbonilla-lodo con composición 60-40(%).**

|  | peso(g) | Diámetro<br>(mm) | Altura<br>(mm) | Volumen<br>(mm <sup>3</sup> ) | Densidad<br>(g/mm <sup>3</sup> ) | Densidad<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad<br>promedio |
|--|---------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|--|---------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|

| 28.8 MPa |       |    |    |          |          |        |        |
|----------|-------|----|----|----------|----------|--------|--------|
| 1        | 29,38 | 37 | 30 | 32239,95 | 0,000911 | 911,23 |        |
| 2        | 30,63 | 37 | 35 | 37613,28 | 0,000814 | 814,34 | 783,99 |
| 3        | 25,58 | 37 | 38 | 40837,27 | 0,000626 | 626,39 |        |
| 43.2 MPa |       |    |    |          |          |        |        |
| 1        | 31,96 | 37 | 37 | 39762,61 | 0,000804 | 803,85 |        |
| 2        | 27,76 | 37 | 30 | 32239,95 | 0,000861 | 861,07 | 827,11 |
| 3        | 33,34 | 37 | 38 | 40837,27 | 0,000816 | 816,41 |        |
| 57.6 MPa |       |    |    |          |          |        |        |
| 1        | 27,33 | 37 | 30 | 32239,95 | 0,000848 | 847,71 |        |
| 2        | 30,17 | 37 | 34 | 36538,61 | 0,000826 | 825,70 | 848,23 |
| 3        | 26,22 | 37 | 28 | 30090,62 | 0,000871 | 871,27 |        |

**Tabla 2.6: Variación de la Densidad promedio de las briquetas carbonilla-iodo.**

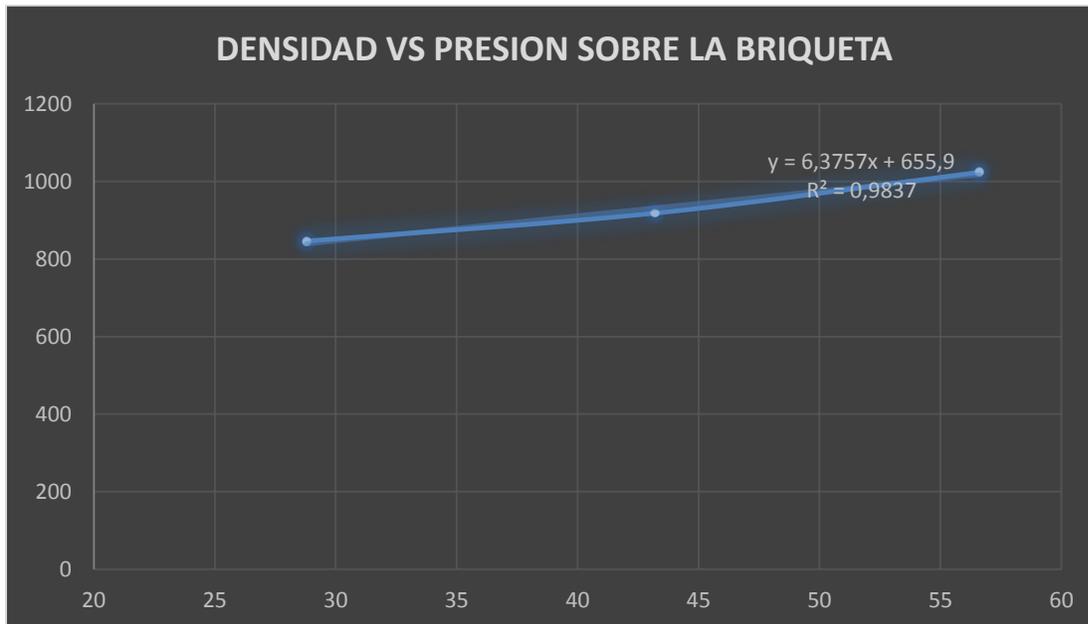
| Presión de compactación (MPa) | Densidad(kg/m <sup>3</sup> ) 80-20 | Densidad(kg/m <sup>3</sup> ) 70-30 | Densidad(kg/m <sup>3</sup> ) 60-40 |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 28.8                          | 1019,06                            | 845,881                            | 783,99                             |
| 43.2                          | 1036,24                            | 918,15                             | 827,11                             |
| 57.6                          | 1060,09                            | 1023,60                            | 841,23                             |

### 2.1.9 Determinación de la función de linealidad y la función exponencial para briquetas de carbón vegetal.

Primero se determinará la función lineal a partir de los datos obtenidos en el experimento, luego se calcularán el resto de coeficientes para determinar la función exponencial que nos brinda una precisión mayor, se auxiliara de estas funciones para determinar un aproximado de la densidad real que alcanzara la mezcla en la primera etapa de compresión.

### 2.1.9.1 Función de linealidad

Atendiendo a los resultados obtenidos se realizará una gráfica de Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) vs Presión (MPa) sobre la briqueta que nos ayudara a establecer el modelo matemático.



**Figura 2.1 Gráfica de comportamiento de la densidad en función del aumento de la presión**

Por tanto, la función lineal que da respuesta a la **ecuación 2.3** es:

$$\rho_P = 6.37 * P + 656 \quad (2.9)$$

### 2.1.9.2 Función exponencial

Ya se había establecido el valor del coeficiente a por lo tanto falta determinar los coeficientes b y c.

Para determinar el coeficiente b se aplicará la **ecuación 2.7**.

Se considera como densidad inicial el intersepto con el eje de la ecuación de linealidad

$$\rho_0 = 656 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$b = 1500 - 656$$

$$b = 844 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Para determinar el coeficiente c se aplicara la **ecuación 2.8**

Se utilizarán como los datos iniciales los obtenidos en el experimento

$$c = \frac{\ln\left(\frac{844}{1500 - 845.8}\right)}{28.8}$$

$$c = 0.0088 \text{ MPa}^{-1}$$

La función exponencial después de ser hallados todos los coeficientes quedara de la siguiente forma:

$$\rho_p = 1500 - 844e^{-0.0088 * P} \quad (2.10)$$

## **2.2 Algoritmo para determinar las dimensiones geométricas de la cámara de alimentación, numero de ciclos, numero de etapas, según la capacidad de producción.**

El siguiente algoritmo describe una metodología para el diseño (dimensionamiento) de las partes fundamentales de una briquetadora hidráulica para producir briquetas macizas de carbón vegetal.

### **2.2.1 Determinación de la masa potencial barrida en briquetadoras hidráulicas**

De forma general la masa barrida para formar una briqueta a una presión conocida para cualquier cantidad de etapas de una briquetadora hidráulica puede ser expresada como:

$$m_b = \rho_i * A_{disp} * l_{ven} \quad (2.11)$$

Donde:

$\rho_i$  ... .. Densidad natural de la briqueta ( $kg/m^3$ )

$A_{disp}$  ... .. Área de la sección transversal del dispositivo de alimentación ( $m^2$ ).

$l_{ven}$  ... .. Longitud de la ventana de alimentación ( $m$ ).

### **2.2.2 Análisis teórico para determinar la masa potencial barrida en una briquetadora hidráulica de dos etapas densificación (figura 2.2)**

El área de una briqueta maciza de una briquetadora hidráulica de dos etapas de alimentación se calcula por la siguiente formula:

### Área transversal de una briqueta maciza $A_{tb}$ de dos etapas

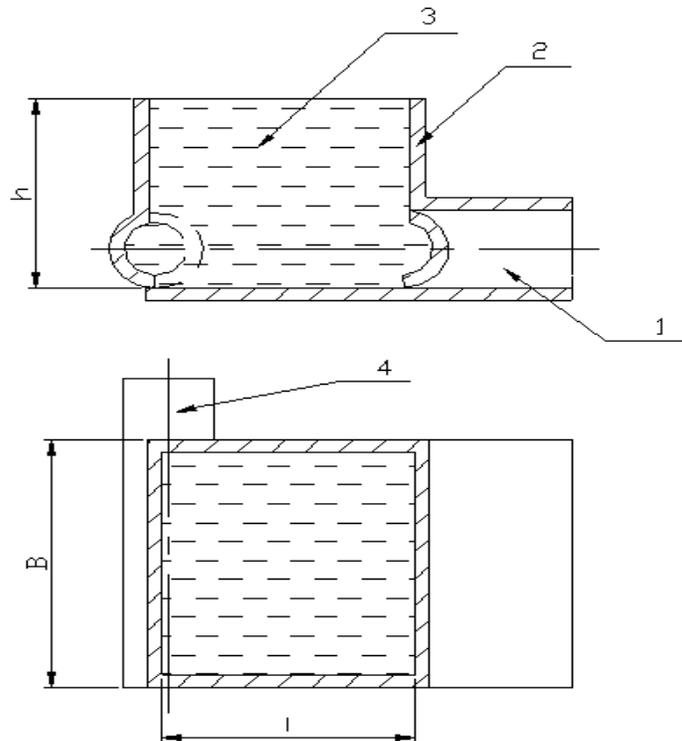
$$A_{tb} = \frac{\pi * D_{disp} * l_{car}}{2} \dots \dots \dots m^2 \quad (2.11)$$

Donde:

$l_{car}$  ... .. Longitud de la carrera del carro alimentador (m)

### Masa de una briqueta maciza $m_b$ de dos etapas

$$m_b = A_{tb} * l_{ven} * \rho_i \dots \dots \dots kg \quad (2.12)$$



**Figura 2.2** Dispositivo que representa una briquetadora de dos etapas de densificación

**1:** Carro de alimentación; **2:** Tolva; **3:** Mezcla ( $\rho_i$ ); **4:** Tubo de briquetado.

### 2.2.3 Calculo teórico de la masa potencial barrida en una briquetadora hidráulica de dos etapas.

A partir de las **ecuaciones 2.11 y 2.12** y con la propuesta de briquetadora se tiene que:

$$A_{tb} = \frac{\pi * 0.2 * 0.2}{2} \quad m^2$$

$$A_{tb} = 0.063 \quad m^2$$

$$m_b = 0.063 * 0.2 * 427 \quad kg$$

$$m_b = 5.38 \quad kg$$

## 2.2.4 Determinación de la densidad real alcanzada en la cámara de alimentación.

### Pasos a seguir:

1. Determinar el de arrastre del carro de alimentación.
2. Transformar la fuerza que aporta el cilindro en presión sobre la briqueta.
3. Aplicar el modelo matemático exponencial para determinar la densidad.

Según las capacidades de los cilindros hidráulicos (cilindros de 90) seleccionados para la propuesta y el modelo matemático determinado anteriormente obtenemos que:

**La fuerza máxima  $F_c$  que puede ejercer el cilindro será de 102 kPa**

**El área de arrastre  $A_{ac}$  del carro de alimentación se podrá calcular como:**

$$A_{ac} = \pi * \frac{D_{disp}}{2} * l_{ven} \quad m^2 \quad (2.13)$$

$$A_{ac} = \pi * \frac{0.2}{2} * 0.2 \quad m^2$$

$$A_{ac} = 0.063 \quad m^2$$

**Transformación de la fuerza del cilindro a presión  $P_b$  sobre la briqueta**

$$P_b = \frac{F_c}{A_{ac}} \quad MPa$$

$$P_b = \frac{102}{0.063} \quad MPa$$

$$P_b = 1.62 \quad MPa$$

**Aplicación del modelo matemático exponencial ecuación 2.10**

$$\rho_p = 1500 - 844e^{-0.0088 * P}$$

$$\rho_p = 1500 - 844e^{-0.0088 * 1.62}$$

$$\rho_P = 668 \text{ kg}/m^3$$

### 2.2.5 Calculo de la masa real de la briqueta formada en la primera etapa de compactación.

Pasos a seguir:

1. Determinar el volumen de la cámara de alimentación cerrada.
2. Calcular la masa contenida en la cámara con la densidad obtenida anteriormente.

**Volumen en la cámara de alimentación cerrada  $V_{cac}$**

$$V_{cac} = \pi * \frac{D_{Disp}^2}{4} * l_{ven} \text{ m}^3 \quad (2.14)$$

$$V_{cac} = \pi * \frac{0.2^2}{4} * 0.2 \text{ m}^3$$

$$V_{cac} = 0.006 \text{ m}^3$$

**Calculo de la masa real de la briqueta  $m_{br}$**

$$m_{br} = V_{cac} * \rho_P \text{ kg} \quad (2.15)$$

$$m_{br} = 0.006 * 668 \text{ kg}$$

$$m_{br} = 4.0 \text{ kg}$$

### 2.3 Capacidad de producción ( $C_T$ ) real de briqueteadora hidráulica

La capacidad real de producción de una briqueteadora depende de la masa real barrida en la unidad de tiempo ( $m_{ba}$ ), del número de ciclos ( $n$ ), y en caso de tener la masa de cada briqueta ( $m_b$ ) el número de briquetas por ciclo ( $z$ ).

**En caso de tener la masa barrida que se aprovechara en su totalidad**

$$C_T = 60 * n * m_{ba} \text{ kg/h} \quad (2.16)$$

**En caso de tener la masa de una briqueta**

$$C_T = 60 * n * m_b * z \text{ kg/h} \quad (2.17)$$

## 2.4 Cálculos energéticos fundamentales para la selección de los componentes del sistema hidráulico

Si se asume la capacidad de producción ( $C_T$  en  $kg/h$ ) de una briqueteadora (de cualquier cantidad de etapas), el número de ciclos ( $N_c$ ) por minuto de trabajo se determina por la siguiente ecuación:

**En función de la masa de la briqueta y el número de tubos de salida**

$$N_c = \frac{C_T}{60 \cdot Z_{tubos} \cdot m_{briq}} \dots \dots \dots \text{min}^{-1} \quad (2.18)$$

Donde:

$Z_{tubos}$  ... ..Número de tubos de salida.

$m_{briq}$  ... ..Masa media de una briqueta en  $kg$ .

**En función de la masa barrida**

$$N_c = \frac{C_T}{60 \cdot Z_{tubos} \cdot m_{ba}} \dots \dots \dots \text{min}^{-1} \quad (2.19)$$

Donde:

$m_{ba}$  ... ..Masa barrida en  $kg$ .

### 2.4.1 Calculo teórico del trabajo en los distintos procesos en la formación de la briqueta ( $W_E$ )

La última etapa de densificación de una briqueteadora hidráulica determina los mayores gastos de energía y presión hidráulica. Si el accionamiento de las diferentes etapas se hace en serie, todo el flujo del aceite hidráulico disponible por la máquina se aplica en esta etapa. Se podría determinar entonces la potencia media del ciclo, a partir de considerar la energía real gastada ( $W_r$ ) en esta etapa (final).

$$W_r = \frac{W_T}{\eta_m \cdot \eta_v} \dots \dots \dots \text{MJ/kg} \quad (2.20)$$

Donde:

$W_T$  ... .. La energía teórica en la etapa final.

$$W_T = W'_c + W_{FR} + W_E$$

El trabajo de compactación ( $W'_c$ )

$$W'_c = \frac{1}{a \cdot c} \ln \left( \frac{a \cdot e^{c \cdot P} - b}{a - b} \right) - \frac{P}{a - b \cdot e^{c \cdot P}} \dots \dots \dots MJ/kg$$

El trabajo fricción en la sección anular del tubo de compactación ( $W_{FR}$ )

$$W_{FR} = \frac{\mu \cdot Per_{briq} \cdot \lambda \cdot L_0}{4 \cdot A_{tubo}} \cdot Q_{(P)} \dots \dots \dots MJ/kg$$

$$Q_{(P)} = \left\{ \left[ \frac{P \cdot (a - b)}{(a - b \cdot e^{-c \cdot P})^2} + \frac{b \cdot (1 - e^{-c \cdot P})}{a \cdot c \cdot (a - b \cdot e^{-c \cdot P})} + \frac{a - b}{a^2 \cdot c} \cdot \ln \left( \frac{a \cdot e^{-c \cdot P} - b}{a - b} \right) \right] \right\}$$

El trabajo de expulsión ( $W_E$ )

$$W_E = \frac{2 \cdot \mu \cdot \lambda \cdot P}{D - d} \cdot \left( \frac{2 \cdot L_{briq}}{a - b} + \frac{L_0}{a - b \cdot e^{-c \cdot P}} \right)$$

Donde:

$Per_{briq}$  ... .. Perímetro de la briqueta

$L_{briq}$  ... .. Longitud de la briqueta.

$Q_{(P)}$  ... .. Presión (MPa) aplicada a la briqueta.

$L_0$  ... .. Longitud constante del tubo de briqueteado, con briquetas de otros ciclos,

$\mu$  ... .. Coeficiente de fricción de la biomasa con el conducto.

$\lambda$  ... .. Relación de presiones normal a la axial.

La potencia media del ciclo:

$$Pot_{med} = \frac{999,97 \cdot W_r \cdot Z_{tubos} \cdot m_{briq}}{T_u} \dots \dots \dots MPa \tag{2.21}$$

Donde:

$$T_u = (0,45 - 0,85)T \dots \dots \dots s \tag{2.22}$$

$T$  ... .. El tiempo para completar un ciclo de trabajo.

$$T = \frac{60}{N_c} \dots \dots \dots s \tag{2.23}$$

La presión máxima en los cilindros de la última etapa de densificación es:

$$P_{cil} = \frac{Z_{tubos} \cdot A_{briq} \cdot P_{briq}^{max}}{N_{cil} \cdot A_{cil}} \dots \dots \dots MPa \quad (2.24)$$

Donde:

$P_{briq}^{max}$  ... .. Presion máxima sobre la briqueta (MPa).

$A_{briq}$  ... .. Area de la sección transversal de la briqueta ( $mm^2$ ).

$N_{cil}$  ... .. Numero de cilindros en la etapa final.

$A_{cil}$  ... .. Area de sección transversal del cilindro hidráulico ( $mm^2$ ).

El área del cilindro ( $A_{cil}$ ) necesario es:

$$A_{cil} \geq \frac{Z_{tubos} \cdot A_{briq} \cdot P_{briq}^{max}}{N_{cil} \cdot P_{cil}} \dots \dots \dots mm^2 \quad (2.25)$$

Donde:

$$A_{briq} = \frac{D_{briq}^2}{4} \left( 1 - z \cdot \left( \frac{d_{hueco}}{D_{briq}} \right)^2 \right) \dots \dots \dots mm^2 \quad (2.26)$$

Si el tiempo del vacío de la última etapa es la suma del tiempo de trabajo ( $T_t$ ), y de vacío ( $T_v$ ).

$$\Rightarrow T_u = T_t + T_v \dots \dots \dots s \quad (2.27)$$

$$\frac{T_v}{T_t} = \gamma = 0,60 - 0,85$$

Despejando  $T_v$ , tenemos:

$$T_v = \gamma \cdot T_t \dots \dots \dots s$$

Sustituyendo  $T_v$  en la **ecuación 2.27** da:

$$T_t = \frac{T_u}{1 + \gamma} \dots \dots \dots s \quad (2.28)$$

Asumiendo la carrera H (en mm), de los cilindros de la última etapa, se determina la velocidad de trabajo como:

$$V_T = \frac{H}{T_t} \dots \dots \dots m/s \quad (2.29)$$

#### 2.4.2 Calculo del flujo ( $Q_c$ ) necesario en los cilindricos hidráulicos

$$Q_c = 60\,000 \cdot V_T \cdot A_{cil} \dots \dots \dots \text{cm}^3/\text{s} \quad (2.30)$$

#### 2.4.3 Selección de la bomba hidráulica

Para la elección de la bomba hidráulica se toma en consideración los siguientes parámetros:

Presión máxima alcanzable de la bomba ( $P_{max}^{bom}$ ).

$$P_{max}^{bom} \geq \frac{Z_{tubos} \cdot A_{briq} \cdot P_{cil}}{N_{cil} \cdot A_{cil}} \dots \dots \dots \text{MPa} \quad (2.31)$$

Desplazamiento geométrico de la bomba ( $q_{bomba}$ ).

$$q_{bomba} = \frac{1000 \cdot Q_c}{n_{bom} \cdot \eta_v} \dots \dots \dots \text{cm}^3/\text{rev} \quad (2.32)$$

Donde:

$n_{bom}$  ... r.p.m de la bomba

$Q_c$  ... Flujo volumétrico de la bomba (l/min)

Potencia media necesaria de la bomba ( $Pot_{med}^{bom}$ ).

$$Pot_{med}^{bom} = \frac{999,97 \cdot W_r \cdot Z_{tubos} \cdot m_{briq}}{T_u} \dots \dots \dots \text{kW} \quad (2.33)$$

Donde:

$$W_r = \frac{W_T}{\eta_m \cdot \eta_v} \dots \dots \dots \text{MJ/kg}$$

Potencia máxima necesaria de la bomba ( $Pot_{max}^{bom}$ ).

$$Pot_{max}^{bom} = \frac{q_{bomba} \cdot n \cdot P_{cil}}{60\,000 \cdot \eta_v \cdot \eta_{mec}} \dots \dots \dots \text{kW} \quad (2.34)$$

#### 2.4.4 Selección del motor

La selección del motor se toma en consideración a los valores de la potencia media y máxima de la bomba y se asume según la posibilidad de admitir sobrecarga instantánea superior al 50% de la potencia nominal.

$$Pot_{med}^{bom} < Pot_{mot} < Pot_{max}^{bom} \quad (2.35)$$

La velocidad del motor se corresponde con la velocidad de giro de la bomba pero se acepta  $\pm 5\%$  de la diferencia respecto a la segunda.

$$n_{mot} = n_{bom} \pm 5\% \dots \dots \dots rev/min \quad (2.36)$$

#### 2.5 Cálculo de la distribución de los agujeros en las bridas de compresión

La figura 2.3 representa una brida cilíndrica multitubular, donde se distinguen las dimensiones geométricas, diámetro de las briquetas, cantidad de briquetas que van a ser producidas en cada ciclo.

Se aplicará dos pisos de distribuciones y un agujero central en una de las dos bridas ya que los agujeros irán ubicados de forma alterna de manera que cuando en una brida aparezca un agujero en la otra habrá relleno.

Se utilizará un total de 29 agujeros para aprovechar la mayor área posible y cada agujero tiene un diámetro de 30 mm ocupando un área total de:

$$A = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \cdot 29 = 20488,5$$

Se compara con el área de las bridas que es:

$$A = \frac{\pi \cdot 200^2}{4} = 31400$$

Se determina el por ciento de área que se aprovecha

$$\%A = \frac{20488,5 \cdot 100}{31400} = 65.2\%$$

#### Luego se pasa a la distribución

En el primer piso irían 18 agujeros o sea 9 en cada brida calcularíamos el ángulo de desfasaje y el ángulo de ubicación

Ángulo de desfasaje es:  $360/18=20$  grados

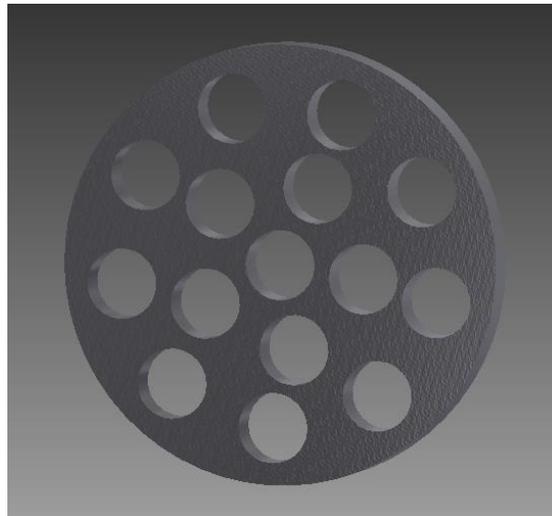
Ángulo de ubicación es:  $360/9=40$  grados

En el segundo piso irán 10 agujeros 5 en cada brida

Ángulo de desfasaje es:  $360/10=36$  grados

Ángulo de ubicación es:  $360/5=72$  grados

Y por último un agujero en el centro de una de las bridas



***Figura 2.3 Ejemplo de una de las bridas con los agujeros y su distribución***

**2.6 Elección de los componentes del sistema hidráulico. Según tipo y calidad de las briquetas y capacidad de producción de la máquina.**

### **2.6.1 Mecanismo de accionamiento**

Mecanismos de accionamiento (cilindros y pistones) de los sistemas hidráulicos.

En los elementos hidráulicos se utiliza el aceite para producir la presión para la alimentación de los mecanismos de accionamiento. La fuerza motriz esta generada por una bomba de aceite. Los cilindros hidráulicos tienen diámetros pequeños, debido a que la presión del aceite en el circuito de alimentación es muy alta. En esta característica radica la ventaja principal de los mecanismos hidráulicos.

### **2.6.2 Calculo de los mecanismos de accionamiento con cilindros y pistones**

El objetivo principal del cálculo de los mecanismos consiste en determinar el valor del diámetro del cilindro para el diseño partiendo de la fuerza sobre el vástago. Se ha

realizado cálculos preliminares para el análisis del sistema y hacer los esquemas a escala. En la figura 2.4 se muestra el balance para un análisis.

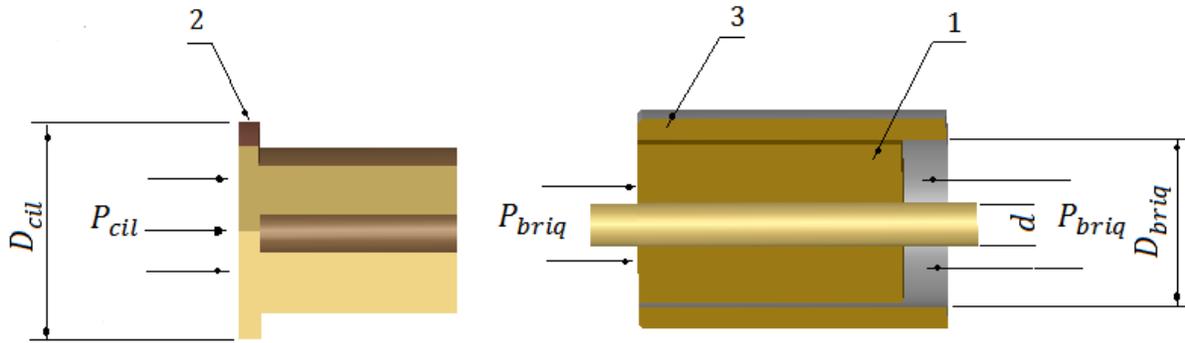


Figura 2.4 Balance de fuerzas en el proceso de densificación

1. Briquetas; 2. Cilindro hidráulico; 3. Tubo de Briqueteado.

$$k \cdot F_{cil} \geq z \cdot F_{briq} \quad (2.37)$$

$$k \cdot P_{cil} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{cil}^2 \geq z \cdot P_{briq} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{briq}^2 \left( 1 - \left( \frac{d_{hueco}}{D_{brid}} \right)^2 \right) \quad (2.38)$$

$$k \cdot P_{cil} \cdot D_{cil}^2 \geq z \cdot P_{briq} \cdot D_{briq}^2 (1 - \gamma^2) \quad (2.39)$$

$$P_{cil} \cdot D_{cil}^2 \geq \frac{z \cdot P_{briq} \cdot D_{briq}^2 (1 - \gamma^2)}{k} \quad (2.40)$$

A partir de la ecuación 2.38 se puede determinar también el diámetro mínimo de los cilindros hidráulicos necesarios para el proceso de densificación. Es decir:

$$D_{cil}^2 \geq \frac{z \cdot P_{briq} \cdot D_{briq}^2 (1 - \gamma^2)}{P_{cil} \cdot k} \quad (2.41)$$

Donde:

$k$  ... .. Numero de cilindros hidráulicos en la segunda etapa de densificación.

$$\gamma = \frac{d_{hueco}}{D_{brid}} \quad (2.42)$$

## 2.7 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LA BRIQUETEADORA

Caso: Se necesita saber las especificaciones técnicas de una briqueteadora hidráulica para satisfacer las condiciones abajo:

Datos Iniciales:

- I. Mezcla formada por polvo de carbón vegetal y lodo para alimento animal
- II. Diámetro de la briqueta formada por la mezcla barrida. ( $D_{briq} = 200 \text{ mm.}$ )
- III. Diámetro de las briquetas finales ( $d_{hueco} = 30 \text{ mm.}$ ).
- IV. Densidad inicial de la briqueta ( $\rho_i = 427 \text{ kg/m}^3$ ).
- V. Presión de cada cilindro hidráulico en la etapa dos ( $P_{cil} = 16 \text{ MPa}$ ).
- VI. Diámetro de los cilindros hidráulicos ( $D_{cil} = 90 \text{ mm.}$ ).
- VII. Carera del cilindros de la primera etapa ( $H_1 = 200 \text{ mm.}$ ).
- VIII. Carera de los cilindros de la segunda etapa ( $H_2 = 100 \text{ mm.}$ ).
- IX. Cantidad de tubos del briqueteado ( $Z_{tubos} = 29$ ).
- X. Cantidad de etapas ( $n_{eta} = 2$ ).

### 2.7.1 Capacidad de producción deseada ( $C_T$ )

$$C_T = 60. n. m_{briq}. 0,9 \dots \dots \dots \text{ kg/h}$$

$$C_T = 60.2,5.4.0,9 \text{ kg} = 540 \text{ kg/h}$$

### 2.7.2 Determinación de la fuerza máxima ( $F_{max}$ ) aplicada a la briqueta por el émbolo.

Para determinar la fuerza que máxima que puede actuar sobre la briqueta se necesita determinar la presión axial que esta ejercida sobre las briquetas.

Para ello se utilizará la presión transversal que ya se conoce ( $P_t=1,62 \text{ MPa}$ )

Aplicando el coeficiente de transformación  $\lambda$  Fundora P. 2002

$$\lambda = \frac{P_t}{P_a} \tag{2.43}$$

$$P_a = \frac{P_t}{\lambda} \text{ MPa}$$

Donde:

$P_a$  – Presión axial sobre las briquetas

$P_t$  – Presión Transversal sobre las briquetas

$\lambda$  – coeficiente de transformación Aproximadamente (0,25)

$$P_a = \frac{1,62}{0,25} \text{ MPa}$$

$$P_a = 6.5 \text{ MPa}$$

Se define la ecuación de la fuerza máxima sobre la briketa

$$F_{max} = P_a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{briq}^2 \dots\dots\dots N \tag{2.44}$$

Se utilizará para el cálculo  $P_a = 7 \text{ MPa}$  para suplir cualquier resistencia que pueda existir.

$$F_{max} = 7 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 30^2 \dots\dots\dots N$$

$$F_{max} = 4945,5 \text{ N}$$

Comprobación

La fuerza entregada por la máquina tiene que ser mayor que la fuerza aplicada a la briketa.

Se determinó que un cilindro de 90 ejerce una fuerza máxima de  $F_{maxcil} = 102 \text{ kN}$

Debido a que en la última etapa de la briketeadora existente dos cilindros esta se duplica

$$nF_{maxcil} > zF_{briq}$$

$$2 \cdot 102 \text{ kN} > 29.4,9 \text{ kN}$$

$$204 \text{ kN} > 142,1 \text{ kN}$$

En la cara más cargada

$$102 \text{ kN} > 15.4,9 \text{ kN}$$

$$102 \text{ kN} > 73,5 \text{ kN}$$

Observación: La máquina es capaz a generar la cantidad de energía necesaria para densificar la briqueta.

### 2.7.3 Número de ciclos ( $N_c$ ) por minuto de trabajo de la máquina

$$N_c = \frac{C_T}{60 \cdot Z_{tubos} \cdot m_{briq}} \dots \dots \dots \text{min}^{-1}$$

$$N_c = \frac{540}{60 \cdot 1.4} = 2.25 \text{ min}^{-1}$$

### 2.7.4 Tiempo de un ciclo ( $T$ )

$$T = \frac{60}{N_c}$$

$$T = \frac{60}{2,25 \text{ min}^{-1}} = 26.6 \text{ s}$$

### 2.7.5 Diámetro necesario de los cilindros hidráulicos ( $D_{cil}$ )

Conociendo la presión máxima entregada por los cilindros hidráulicos, se puede calcular el diámetro mínimo necesario de los cilindros hidráulicos a partir de la **ecuación 2.41**.

$$D_{cil}^2 \geq \frac{z \cdot P_{briq} \cdot D_{briq}^2 (1 - \gamma^2)}{P_{cil} \cdot k}$$

$$D_{cil}^2 \geq \frac{29.6,5 \cdot 30^2 (1 - 0.15^2)}{16.2}$$

$$D_{cil}^2 \geq 5182$$

$$D_{cil} \geq 71.9 \text{ mm}$$

Los cilindros utilizados son de diámetro 90 mm por lo tanto cumplen con los requisitos.

### 2.7.6 Determinación del tiempo del ciclo de la última etapa de densificación

$$T_u = (0,45 - 0,85)T$$

Donde:

$$T = 26,6 \text{ s}$$

Asumiendo

$$T_u = 0,75 \cdot T = 0,75 \cdot 26,6 = 19,95 \text{ s}$$

### 2.7.7 Determinación del tiempo de la carrera de trabajo de la última etapa

$$T_t = \frac{T_u}{1 + \gamma} \dots \dots \dots (s)$$

Donde:

$$\gamma = 0,60 - 0,85$$

Considerando  $\gamma = 0,75$  tenemos que:

$$T_t = \frac{19,95 \text{ s}}{1 + 0,75} = 11,4 \text{ s}$$

### 2.7.8 Cálculo del flujo necesario en los cilíndricos hidráulicos

$$Q_c = 60\,000 \cdot V_T \cdot A_{cil}$$

Donde:

$$V_T = \frac{H}{T_t}$$

$$V_T = \frac{0,1 \text{ m}}{11,4 \text{ s}} = 0,009 \text{ m/s}$$

$$A_{cil} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow Q_c = 60\,000 \cdot 0,009 \cdot 0,006 = 3,24 \text{ l/min.}$$

### 2.7.9 Calculo del desplazamiento geométrico de la bomba en $cm^3$

$$q_{bomba} = \frac{1000 \cdot Q}{n \cdot \eta_v}$$

Donde:

$$n = 1\,750 \text{ rev/min}$$

$$\eta_v = 0,92$$

Debido a que el funcionamiento de la última etapa está compuesta por dos cilindros se considera que el flujo necesario será el doble

$$q_{bomba} = \frac{1\,000 \cdot 2 \cdot 3,24}{1\,750 \cdot 0,92} = 4 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

### 2.7.10 Potencia máxima necesaria de la bomba

$$Pot_{max}^{bom} = \frac{q_{bomba} \cdot n \cdot P_{cil}}{60\,000 \cdot \eta_v \cdot \eta_{mec}} \dots \dots \dots kW$$

Donde:

$$\eta_{mec} = 0,9$$

$$\eta_v = 0,92$$

Sustituyendo los valores tenemos que:

$$Pot_{max}^{bom} = \frac{4 \text{ cm}^3/\text{rev} \cdot 1\,750 \text{ r.p.m.} \cdot 16 \text{ MPa}}{60\,000 \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 2,3 \text{ kW}$$

### 2.7.11 Selección del motor

Se sabe:

$$\eta_{mot} = 1\,750 \text{ r.p.m}$$

$$Pot_{max}^{bom} < 2,3 \text{ kW}$$

La potencia del motor a utilizar:  $Pot_m = (2 - 2.5)kW$

Con sobre carga instantánea de (0,40-0,86), la velocidad del motor coincidente con la velocidad de la bomba (bomba conectada directamente al motor).

### 2.7.12 Selección de la bomba hidráulica

Velocidad de rotación de la bomba:

$$\eta_{bomba} = 1\ 750\ r.p.m$$

Desplazamiento geométrico de la bomba:

$$q_{bomba} = 4\ cm^3/rev$$

Presión máxima de trabajo de la bomba:

$$P_{max}^{bom} = 30\ MPa$$

Demanda máxima de potencia de la bomba:

$$Pot_{max}^{bom} = 2,3\ kW$$

### 2.7.13 Calculo de parámetros geométricos de la máquina

El diseño de la máquina lleva muchos factores que el diseñador debería tomar en consideración para lograr su pieza final. El siguiente análisis muestra los elementos los cuales prestan atención para obtener las respectivas dimensiones físicas de la máquina.

#### 2.7.13.1 Longitud mínimo del bastidor ( $L_{bas}$ )

$$L_{bas} = 2 \cdot l_{sop\ long\ 1} + 2 \cdot l_{cil\ long} + 2 \cdot l_{carro\ comp} + l_{tubo\ briq}$$

Donde:

$l_{sop\ long}$  ... ..Longitud de los soportes longitudinales.

$l_{cil\ long\ 1,2}$  ... ..Longitud de los cilindros principales.

$l_{carro\ comp}$  ... ..Longitud de los carros que ejercen presión.

$$L_{bas} = 2616,0\ mm$$

#### 2.7.13.2 Longitud mínimo de la tolva

$$L_{tolva} = l_{tubo\ briq}$$

$$L_{tolva} = 200\ mm$$

### 2.7.13.3 Longitud mínimo de las carreras de los cilindros

$$L_{car\ cil\ long} = 100\ mm$$

$$L_{car\ cil\ trans} = 200\ mm$$

### 2.7.13.4 Ancho mínimo total de la máquina ( $A_{total}$ )

$$A_{total} = l_{sop\ trans\ 1} + l_{cil\ trans} + l_{car\ cil\ trans} + l_{carro\ trans} + l_{sop\ trans\ 2}$$

Donde:

$l_{sop\ trans}$  ... ..Longitud del soporte transversal.

$l_{cil\ trans\ 1}$  ... ..Longitud del cilindro transversal principal.

$l_{cil\ trans\ 2}$  ... ..Longitud del cilindro transversal secundario.

$l_{car\ cil\ trans}$  ... ..Longitud de la carrera del cilindro transversal.

$l_{carro\ trans}$  ... ..Longitud del carro de compresión transversal.

$$A_{total} = 1691,0\ mm.$$

## 2.8 Conclusiones Parciales

1. Las características geométricas de una briquetadora hidráulica, se calcula en función o en base de las dimensiones de las briquetas y de la capacidad de producción de la misma. Estas características son las básicas y fundamentales para diseñar tal máquina.
2. La metodología describe una secuencia general de fórmulas que permite extraer valores en términos de magnitudes físicos de los elementos críticos de cualquier máquina que se quiera diseñar. Se puede seguir la estructura del cálculo del caso presentado y lograr a un resultado definitivo.

# CAPITULO III: ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE RESISTENCIA MECÁNICA

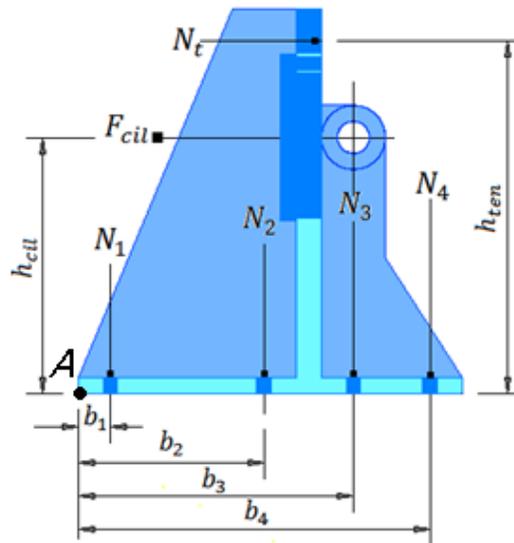
## 3.1 Análisis Teórico de la Resistencia Mecánica de los Componente Fundamentales de la Briqueteadora

### 3.1.1 Teoría del cálculo de la resistencia mecánica de los tornillos de los soportes de los cilindros hidráulicos

Primero, es necesario saber el valor máximo de la fuerza que ejerce el cilindro, la cual se determina por la siguiente ecuación:

$$F_{cil} = P_{cil} \cdot A_{cil} \dots \dots \dots kN \quad (3.1)$$

El cálculo de la fuerza normal que actúa sobre los tornillos y los tensores se realiza considerando que el soporte de los cilindros, al actuar ambos tenderá a pivotar respecto al punto A, como se muestra en la figura 2.1.



**Figura 3.1 Esquema de deformación del soporte de los cilindros principales con un vástago y dos tensores colocados**

Haciendo uso de las ecuaciones de equilibrio, se hace una sumatoria de momento respecto al punto A, eliminando la posible acción de las reacciones que puedan aparecer en dicho lugar.

$$\sum M_A = 0.$$

$$N_1 \cdot b_1 + N_2 \cdot b_2 + \dots + N_t \cdot h_{ten} - F_{cil} \cdot h_{cil} = 0 \quad (3.2)$$

Como se puede ver se tiene una ecuación y cinco incógnitas, siendo el sistema hiperestático. Para su solución utilizaremos el método de las deformaciones, hallando la relación entre estas y transformándolas en ecuaciones de fuerza a través de la ley de Hooke, la cual plantea que:

$$\Delta L = \frac{N \cdot L}{A_{tor} \cdot E} \quad (3.3)$$

Donde:

$N$  ... .. Fuerza normal sobre cada tornillo ( $kN$ )

$L$  ... .. Longitud del elemento (tornillo) ( $mm$ )

$E$  ... .. Modulo de elasticidad del material ( $kN/mm^2$ )

$A_{tor}$  ... .. Área de la sección transversal del tornillo ( $mm^2$ ).

De la figura 2.2 se obtiene que:

$$\frac{\Delta L_4}{b_4} = \frac{\Delta L_2}{b_2}$$

$$\frac{\Delta L_4}{b_4} = \frac{\Delta L_3}{b_3}$$

$$\frac{\Delta L_4}{b_4} = \frac{\Delta L_1}{b_1}$$

$$\frac{\Delta L_4}{b_4} = \frac{\Delta L_{ten}}{h_{ten}}$$

Si los diámetros de los tornillos y el módulo de elasticidad del material son iguales se cumple que:

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_t$$

$$A_{tor_1} = A_{tor_2} = A_{tor_3} = A_{tor_4} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Por lo tanto, se obtiene que:

$$\frac{N_4 \cdot L_4}{E_4 \cdot A_{tor4}} = \frac{b_4 \cdot N_2 \cdot L_2}{b_2 \cdot A_{tor2} \cdot E_2} \quad (3.4)$$

$$N_2 = \frac{b_2 \cdot N_4}{b_4}$$

$$N_3 = \frac{b_3 \cdot N_4}{b_4}$$

$$N_1 = \frac{b_1 \cdot N_4}{b_4}$$

$$\frac{N_4 \cdot L_4}{E_4 \cdot A_{tor4}} = \frac{b_4 \cdot N_T \cdot L_T}{h_{ten} \cdot A_T \cdot E_T}$$

$$N_T = \frac{A_T \cdot h_{ten} \cdot L_4}{b_4 \cdot A_{Tor} \cdot L_T} \cdot N_4 \quad (3.5)$$

Por tanto, la Ecuación finalmente quedaría

$$N_4 \left( b_4 + \frac{b_1^2}{b_4} + \frac{b_2^2}{b_4} + \frac{b_3^2}{b_4} + \frac{A_T \cdot h_{ten}^2 \cdot L_4}{b_4 \cdot A_{Tor} \cdot L_T} \right) - F_{cil} \cdot h_{cil} = 0 \quad (3.6)$$

Se determina la fuerza de cortante ( $Q$ ) por la ecuación de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \dots \dots \dots kN$$

Por lo tanto:

La tensión normal será hallada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_N = \frac{N_{eq}}{A_{tor}} = \frac{4 \cdot N_{eq}}{\pi \cdot d^2} \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.7)$$

Donde:

$A_{tor}$  ... .. Área del tornillo a nivel de la raíz de la rosca. ( $mm$ ).

$d$  ... .. Diámetro de la raíz de la rosca. ( $mm$ ).

La tensión tangencial provocada por la fuerza transversal  $Q$  se puede calcular por:

$$\tau = \frac{Q}{A_{tor}} \leq [\tau] \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.8)$$

Donde:

$Q$  ... .. Fuerza transversal ( $kN$ )

$$[\tau] = 0,6. [\sigma] \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.9)$$

La tensión permisible para tornillos del acero al carbono puede ser calculada por:

$$[\sigma] = 0,4. \sigma_u \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.10)$$

Por la cuarta teoría de resistencia:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3. \tau^2} \leq [\sigma] \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.11)$$

Si  $\sigma_{eq} \leq [\sigma]$  el diseño esta bien, si el valor es más grande tiene que poner más tornillo en la zona de mayor tensión y recomprobar el cálculo

### **3.1.2 Teoría del cálculo para el pasador que acopla los cilindros hidráulicos con los soportes.**

El pasador que acopla el cilindro hidráulico con el soporte está sometido a una elevada tensión de cortante por esto es necesario evaluar su resistencia

Para ello utilizaremos la siguiente ecuación

$$\tau = \frac{Q}{2A_{pas}} \leq [\tau] \dots \dots \dots kN/mm^2 \quad (3.12)$$

Donde:

$Q$  ..... fuerza que ejerce el cilindro sobre el pasador

$A_{pas}$  ..... es el área de la sección de cortante en pasador

### 3.1.3 Teoría del cálculo de la fuerza de fricción ( $F_f$ ) mínima desarrollada por la briqueta en el conducto

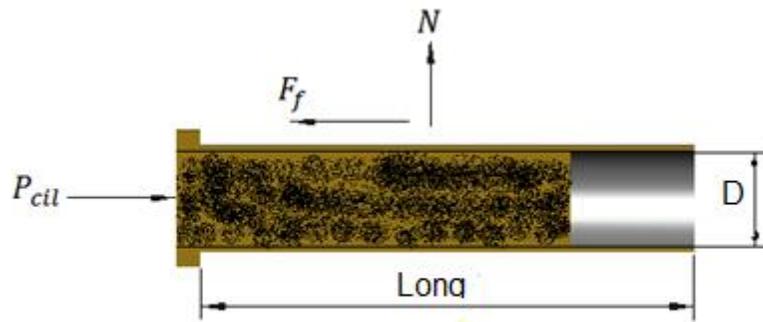


Figura 3.2 Fuerza de fricción en el tubo de salida.

$$F_f = \mu \cdot N \quad (3.13)$$

Donde:

$N$  ... .. Fuerza normal de la biomasa en el conducto

$$N = n \cdot \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot \lambda \cdot P_{cil} \quad (3.14)$$

$$F_f = n \cdot \mu \cdot \lambda \cdot \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot P_{cil} \quad (3.15)$$

Donde:

$l_{tubo}$  ... .. Longitud del tubo

$n$  ... .. cantidad de briquetas de una brida

## 3.2 Cálculos de resistencia mecánica de los componentes fundamentales de la Briquetadora.

### 3.2.1 Cálculo de las tensiones en tornillos

#### Datos

La presión en cada cilindro es 16 MPa y el diámetro de los mismos es 90 mm

$$16 \text{ MPa} = 16 \text{ N/mm}^2$$

Sabemos:

$$F_{cil} = P_{cil} \cdot A_{cil}$$

Donde:

$$F_{max\ cil} = 16\ N/mm^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 90^2\ mm^2 = 101736\ N = 102\ kN$$

Las dimensiones del soporte son:

$$b_1 = 30\ mm, b_2 = 90\ mm, b_3 = 235\ mm, b_4 = 295\ mm,$$

$$h_{ten} = 310,5\ mm, h_{cil} = 145\ mm$$

Usando la ecuación de equilibrio:

$$\sum M_A = 0.$$

$$2 \cdot N_1 \cdot b_1 + 2 \cdot N_2 \cdot b_2 + 2 \cdot N_3 \cdot b_3 + 2 \cdot N_4 \cdot b_4 + 2 \cdot N_t \cdot h_{ten} - F_{max\ cil} \cdot h_{cil} = 0$$

El sistema es hiperestático y la ecuación de equilibrio tiene 5 incógnitas.

Para resolver la ecuación se utiliza el método de deformación:

$$\Delta L = \frac{N \cdot L}{A_{tor} \cdot E}$$

Los diámetros de los tornillos, la longitud y el material son iguales, así que se cumple que:

$$\begin{aligned} A_{tor_1} = A_{tor_2} = A_{tor_3} = A_{tor_4} = A_{tor_5} = A_{tor_6} = A_{tor_7} = A_{tor_8} &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} \\ &= \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314\ mm^2 \end{aligned}$$

$$L_{torn} = 60\ mm$$

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_t = 2,1 \cdot 10^6\ kgf/cm^2 = 0,0206 \cdot 10^6\ kN/cm^2$$

$$A_{ten} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} = 490,625\ mm^2$$

$$L_{ten} =$$

Por lo tanto se obtiene que:

$$N_1 = \frac{b_1 \cdot N_4}{b_4} = 0,1 \cdot N_4$$

$$N_2 = \frac{b_2 \cdot N_4}{b_4} = 0,3 \cdot N_4$$

$$N_3 = \frac{b_3 \cdot N_4}{b_4} = 0,8 \cdot N_4$$

$$N_T = \frac{A_{ten} \cdot h_{ten} \cdot L_{Tor}}{b_4 \cdot A_{Tor} \cdot L_{ten}} \cdot N_4 = 0,05 \cdot N_4$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de equilibrio da:

$$2 \cdot (30 \cdot 0,1 \cdot N_4 + 90 \cdot 0,3 \cdot N_4 + 235 \cdot 0,8 \cdot N_4 + 295 \cdot N_4 + 310 \cdot 5 \cdot 0,05 \cdot N_4) - 102 \text{ kN} \cdot 145 = 0$$

$$N_4 = 14,64 \text{ kN}$$

Se determina la fuerza de cortante ( $Q$ ) por la ecuación de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \dots \dots \dots \text{ kN}$$

$$8 \cdot Q - F_{cil} + 2 \cdot N_T = 0$$

$$Q = \frac{-2 \cdot N_T + F_{max cil}}{8}$$

$$Q = 12,57 \text{ kN}$$

Así, los tornillos están sometidos a un estado tensionar y soportan una fuerza normal ( $N$ ) y un cortante ( $Q$ ). Los tornillos más cargados son de la cuarta fila, por lo que para garantizar su resistencia se realizará el siguiente cálculo de comprobación.

### Comprobación

La tensión normal será hallada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_N = \frac{N_{eq}}{A_{tor}}$$

$$\sigma_N = \frac{14,64 \text{ kN}}{3,14 \text{ cm}^2} = 4,66 \text{ kN/cm}^2$$

La tensión tangencial provocada por la fuerza transversal  $Q$  se puede calcular por:

$$\tau = \frac{Q}{A_{tor}}$$

$$\tau = \frac{12,56 \text{ kN}}{3,14 \text{ cm}^2} = 4 \text{ kN/cm}^2$$

Según la norma cubana NC 57-76:85 para tornillos de acero 45 templado:

$$\sigma_u = 10\,400 \text{ kgf/cm}^2 = 102 \text{ kN/cm}^2.$$

La tensión permisible para tornillos del acero 45 templado puede ser calculada por:

$$[\sigma] = 0,4 \cdot \sigma_u = 0,4 \cdot 102 \text{ kN/cm}^2 = 40,8 \text{ kN/cm}^2$$

Por la cuarta teoría de resistencia:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_N^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{4,66^2 + 3 \cdot 4^2} = 8,34 \text{ kN/cm}^2.$$

$$8,34 \text{ kN/cm}^2 \leq 40,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma]$$

Los tornillos en la base del soporte pueden soportar la fuerza resultante de la fase de densificación, es decir, cuando la máquina esta actuado con la fuerza máxima, el soporte no pierde su estabilidad.

### 3.2.2 Cálculo de la resistencia del pasador

Para el cálculo del pasador en el cual recae la mayor fuerza que se ejerce en la máquina necesitaremos la fuerza que ejerce el cilindro hidráulico sobre este la cual fue calculada en el inciso 2.4 de este capítulo

$$F_{max \text{ cil}} = 101,736 \text{ kN}$$

Comprobaremos que el pasador es capaz de resistir esta fuerza sin que ocurra cizallamiento

Para ello emplearemos la siguiente formula de cortante (Q)

$$A_{pas} = \frac{\pi \cdot D_{pas}}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,5mm^2 = 7,065cm^2$$

$$\tau = \frac{Q}{2A_{pas}} \leq [\tau]$$

$$\tau = \frac{101,736kN}{2 * 7,065cm^2} \leq [\tau]$$

$$\tau = 7,2 \leq [\tau]$$

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] \dots \dots \dots kN/cm^2$$

$$[\sigma] = 0,4 \cdot \sigma_u \dots \dots \dots kN/cm^2$$

La tensión permisible para el acero 45 templado

$$\sigma_u = 10\,400\,kgf/cm^2 = 102\,kN/cm^2$$

$$[\sigma] = 0,4 \cdot \sigma_u = 0,4 \cdot 102\,kN/cm^2 = 40,8\,kN/cm^2$$

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 40,8\,kN/cm^2 = 24,48\,kN/cm^2$$

Entonces

$$7,2\,kN/cm^2 \leq 24,48\,kN/cm^2$$

$$\tau \leq [\tau]$$

Por tanto el pasador es capaz de resistir la tensión de cortante producida por el cilindro.

### 3.2.3 Calculo de la fuerza de fricción ( $F_f$ ) mínima desarrollada por la briqueta en el conducto

$$F_f = \mu \cdot N$$

$$N = n \cdot \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot \lambda \cdot P_{cil}$$

$$F_f = n \cdot \mu \cdot \lambda \cdot \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot P_{cil}$$

$$\Rightarrow F_f = 15 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot \pi \cdot 30\,cm \cdot 60\,cm \cdot 6,5\,kN/cm^2 = 96,5\,kN$$

**Comprobación:**

$$F_{briq} < F_f < F_{cil}$$

$$73,5 \text{ kN} < 96,5 \text{ kN} < 102 \text{ kN}$$

Observación: La fuerza de fricción de las briquetas en el tubo de salida tiene que ser superior a la fuerza a la fuerza inicial sobre esta, (si no, las briquetas van a salir empujadas por la acción de la primera compresión sin alcanzar la densidad requerida), a la misma vez tiene que ser inferior a la fuerza de empuje del embolo garantizando la salida de las briquetas. La fuerza responsable para la densificación de las briquetas es la misma que garantiza la expulsión de estas.

**3.3 Análisis de la resistencia mecánica de los conjuntos fundamentales de la briqueteadora****3.3.1 Introducción**

En la ingeniería, especialmente en el campo de diseño, la mayoría de cálculos hecha por mano están siendo sustituidos por cálculo electrónico que normalmente utilizan un algoritmo complejo que permiten obtener soluciones de los problemas. Esta nos permite obtener productos de calidad superior a menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

Los programas de AEF (análisis por elementos finitos) facilitan el proceso de cálculo y da resultados favorables. La transformación de un sistema de ingeniera (con infinitas incógnitas a un modelo de elementos finitos requiere un conocimiento profundo del programa. En realidad, dicho modelo es una idealización matemática de un sistema real, si analiza por otro modo puede ser muy laborosa o imposible.

El termino elemento finito resume el concepto básico del modelo: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un numero finito de incógnitas relacionado entre sí por elementos de un tamaño finito. Un nudo es una localización en el espacio de un punto en el que se considera que existen ciertos grados de libertad (desplazamiento, potenciales, temperatura) y acciones (fuerzas, corrientes, condiciones de contorno...) del sistema físico.

Un elemento es una representación matemática matricial, denominada matriz de rigidez, de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nudos. Los elementos pueden ser puntuales, lineales, superficiales, volumétricos, y pueden estar en espacio de dos o tres dimensiones.

Cada nudo tiene ciertos grados de libertad (GDL) que caracterizan la respuesta del campo (las ecuaciones diferenciales que representan el problema que se requiere resolver). La información se pasa de un elemento a otro por los nodos comunes.

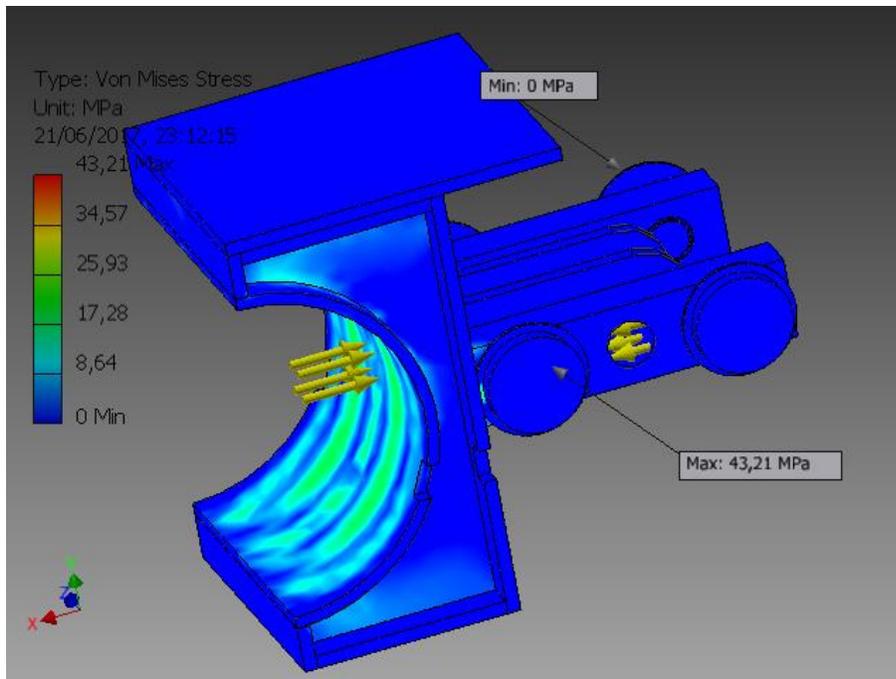
Los GDL en un nudo dependen de los elementos que se conectan en dicho nudo.

Las condiciones de análisis estructurales incluyen:

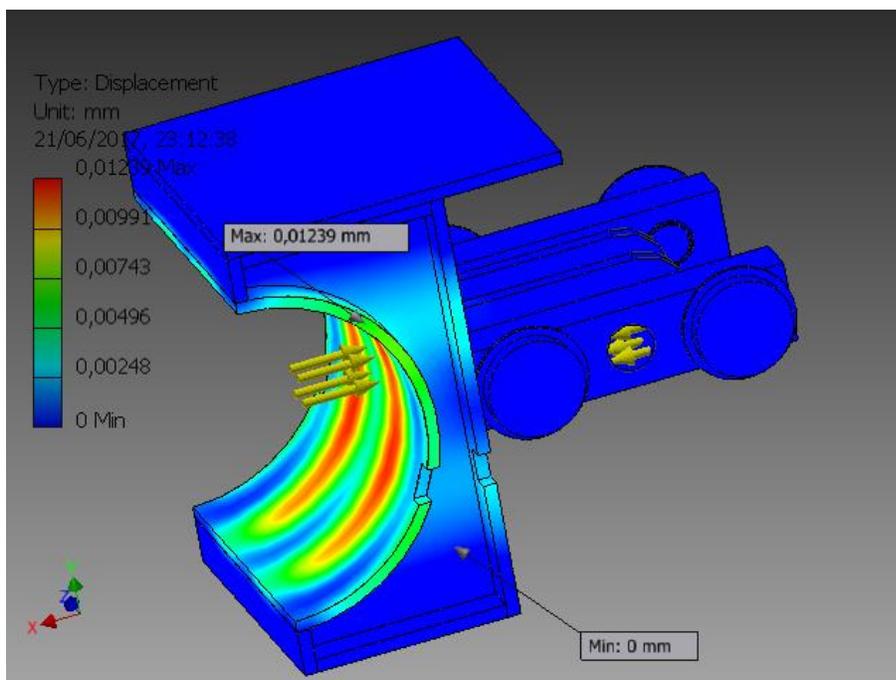
- I. Restricciones de desplazamiento
- II. Fuerzas aplicadas en nudos
- III. Presión sobre elementos
- IV. Temperaturas en nudos
- V. Cargas volumétricas o de inercia (gravedad)

Se realizará un análisis de estrés o de comportamiento de los principales componentes de la briqueteadora que no son más que aquellos sometidos a grandes cargas en los procesos de compresión de la briqueteadora. Para realizar estos análisis se auxiliará del software Autodesk Inventor que nos brindará una precisión mucho mayor en los cálculos. El análisis se llevará a cabo en cuanto a presión sobre elementos y restricción de desplazamientos en zonas críticas.

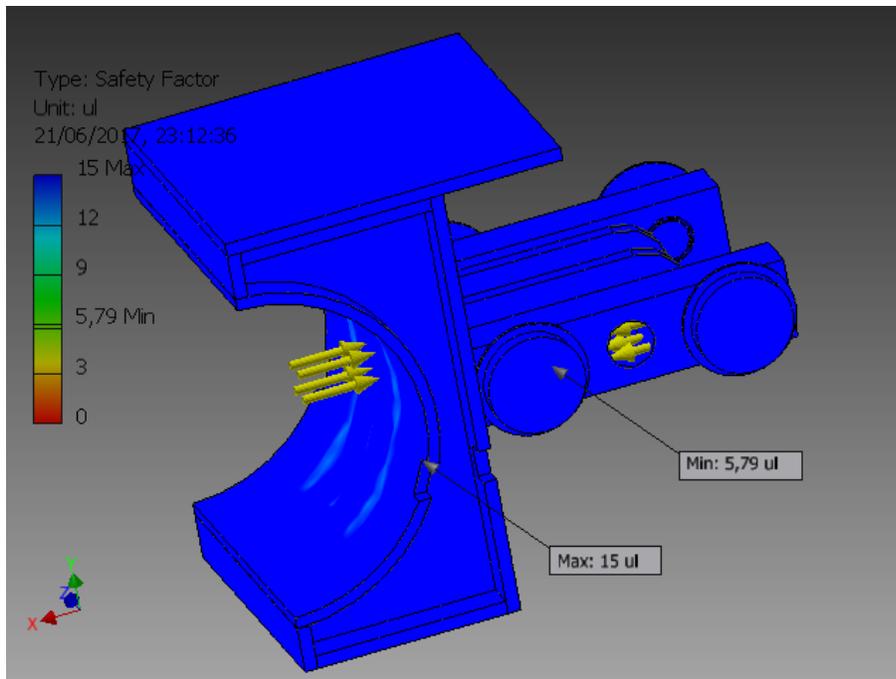
### **3.3.2 Cálculos de Resistencia mecánica en los conjuntos que forman el tubo de briquetado**



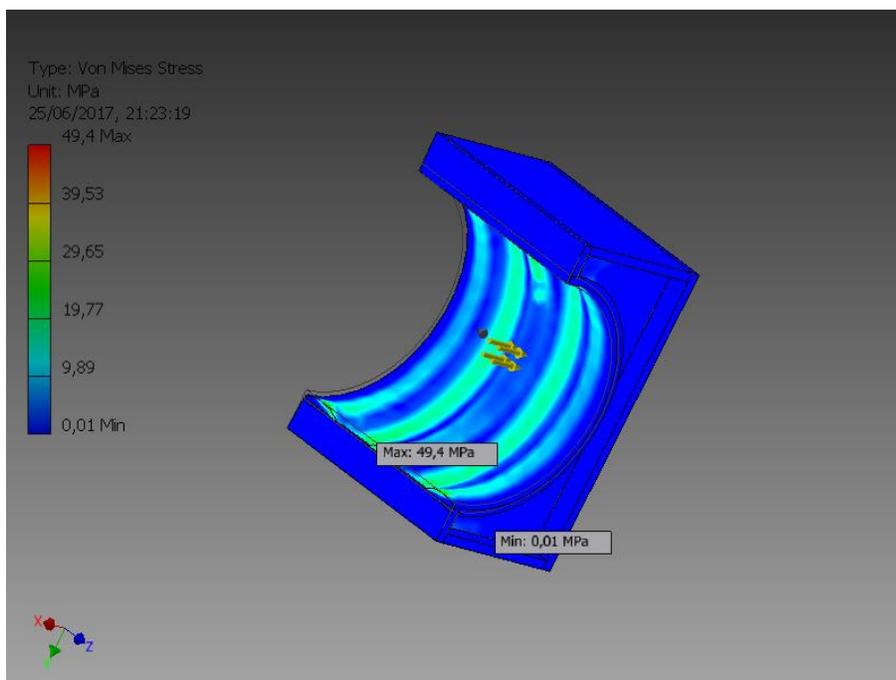
**Figura 3.3 Presión en el carro de la primera etapa de compresión**



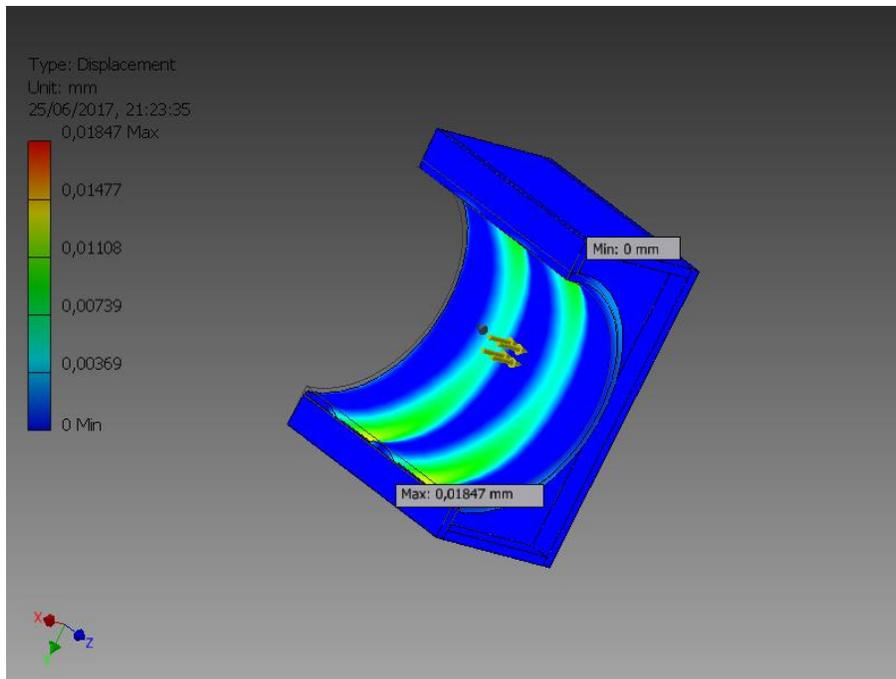
**Figura 3.4 Desplazamientos en el carro de la primera etapa de compresión**



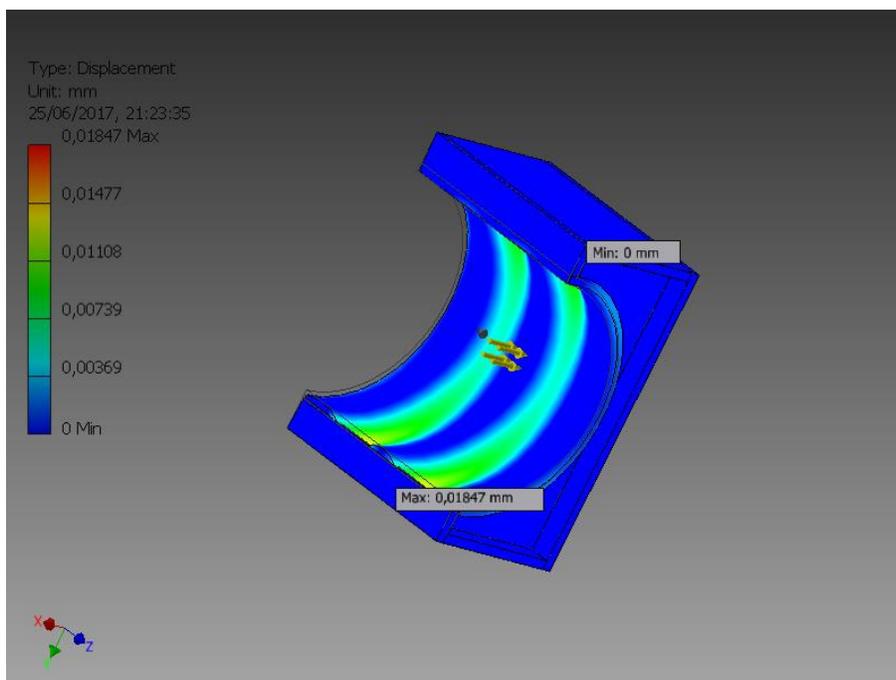
**Figura 3.5 Factor de seguridad en el carro de la primera etapa de compresión**



**Figura 3.6 Presión en la parte fija del cilindro de compresión**



**Figura 3.7 Desplazamiento en la parte fija del cilindro de compresión**



**Figura 3.8 Factor de seguridad en la parte fija del cilindro de compresión**

### 3.3.3 Cálculos de resistencia en el soporte principal

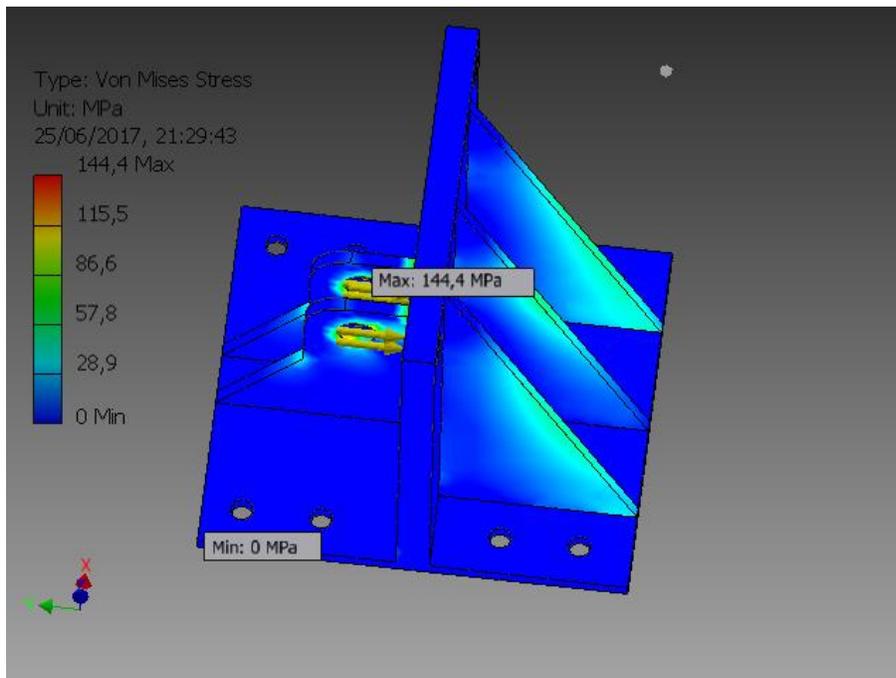


Figura 3.9 Presión en el soporte principal

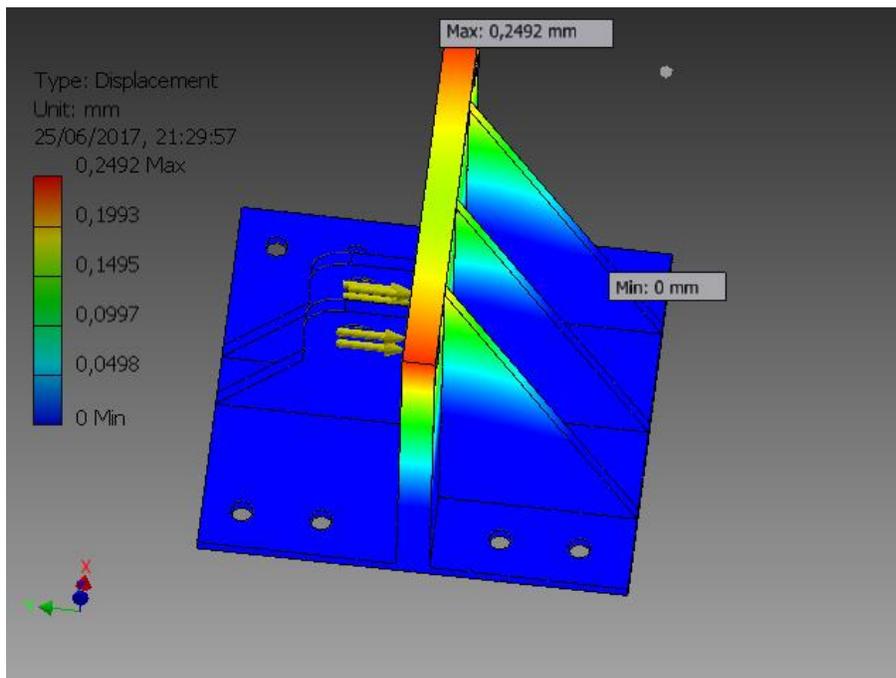
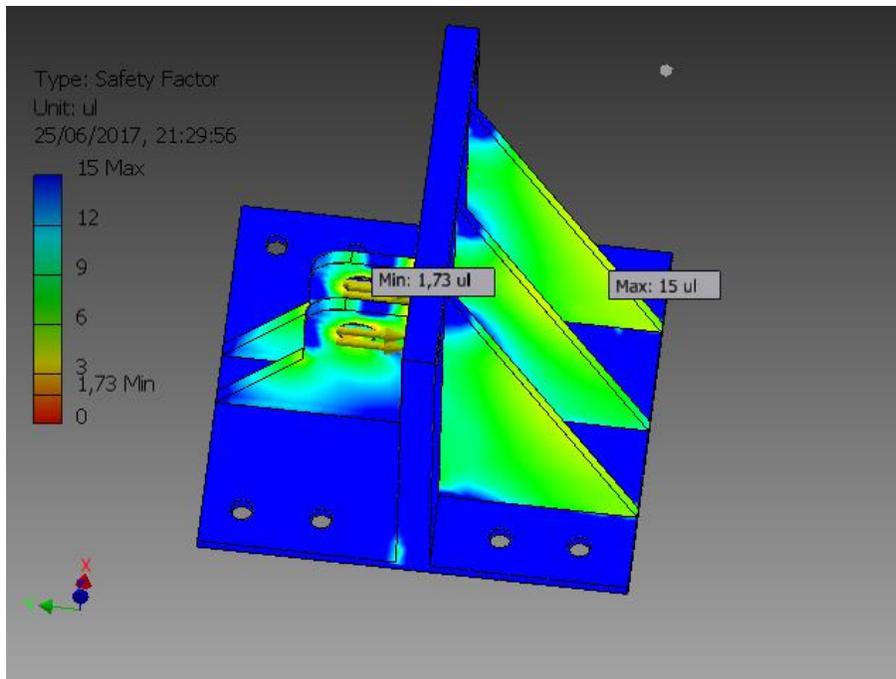
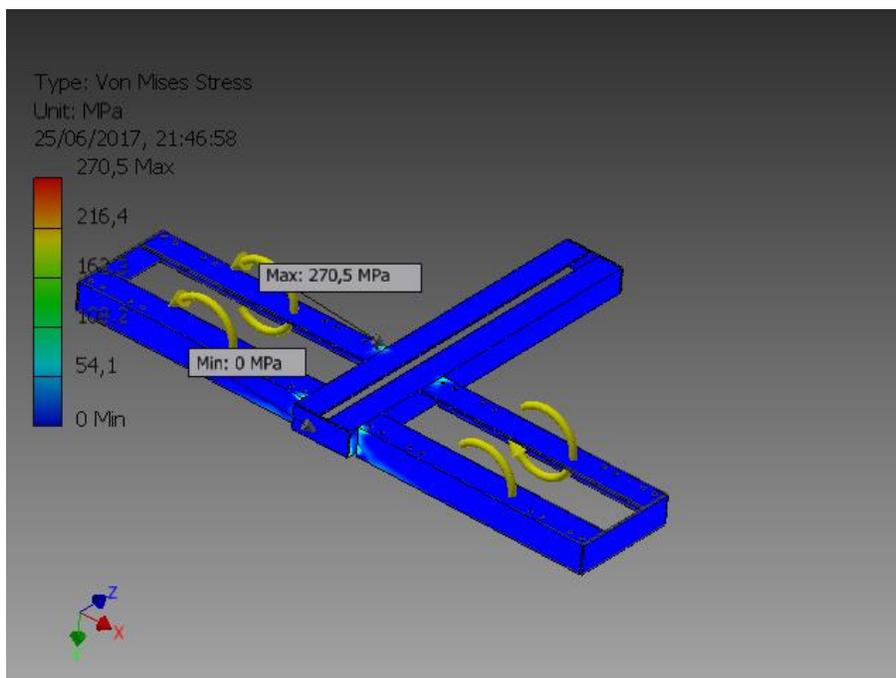


Figura 3.10 Desplazamiento en el soporte principal

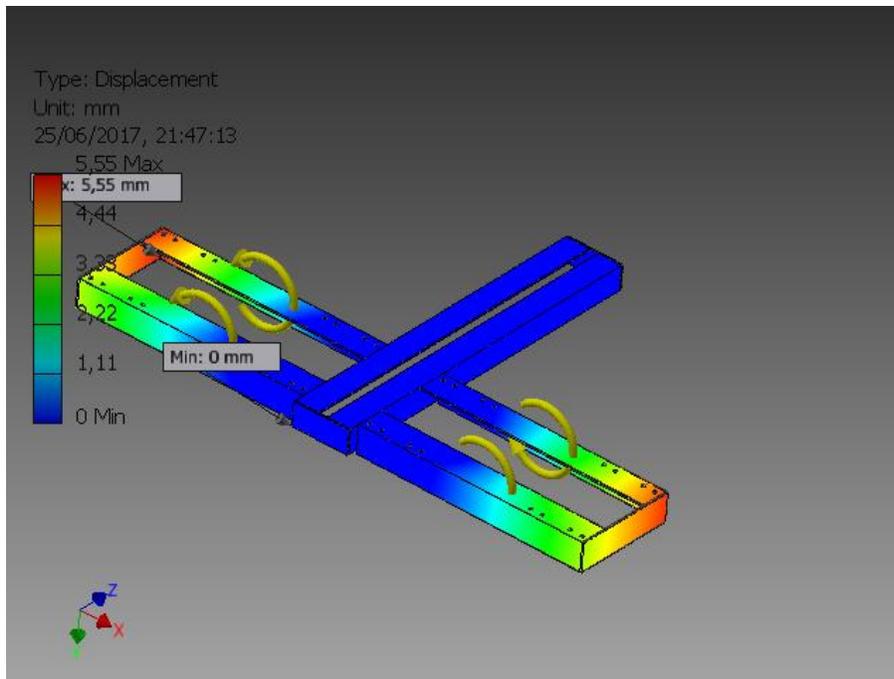


**Figura 3.11 Factor de seguridad del soporte principal**

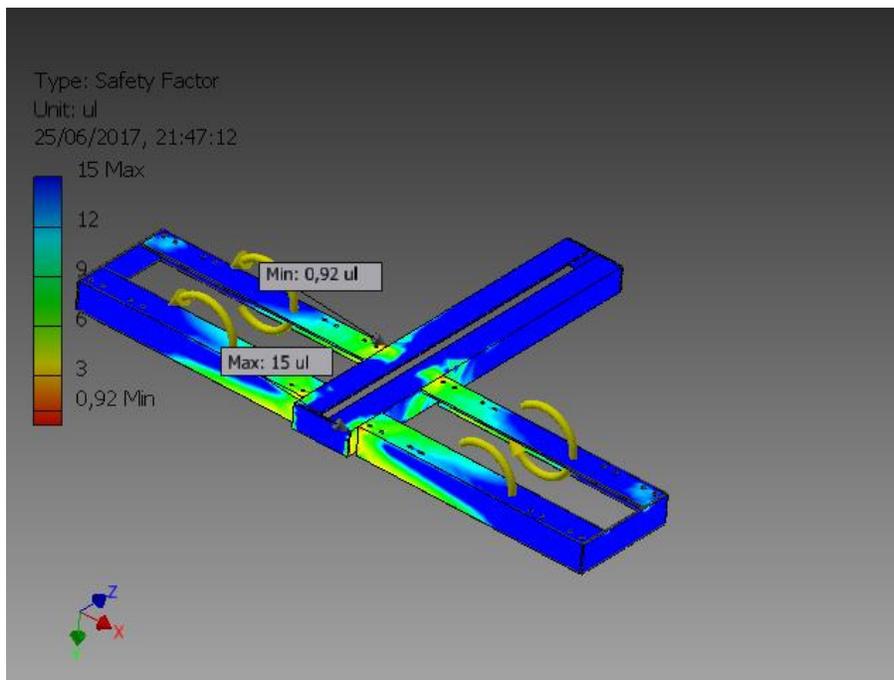
### 3.3.4 Cálculos de resistencia en la estructura soporte



**Figura 3.12 Presión en la estructura soporte**



**Figura 3.13 Desplazamiento en la estructura soporte**



**Figura 3.14 Factor de Seguridad en la estructura soporte**

El factor de seguridad en algunas zonas alcanza valores mínimos de 0.92. Para este tipo de soportes es un valor aceptado, pero si se realiza el cálculo teniendo en cuenta los tensores y placas este aumentara por lo cual no representa un problema en la resistencia del conjunto.

### **3.4 Conclusiones Parciales**

1. El uso de un algoritmo electrónico facilita el proceso de diseño, de tal manera, que si lo dicho este hecho a escala, permite el diseñador ver en el espacio la pieza o el conjunto de piezas en su totalidad, haciendo posible corregir errores geométricos de acoplamiento de un elemento y sus agregados.
2. El uso de programas certificadas para diseñar permite obtener productos de calidad superior a menor costo también se puede mejorar procesos existentes y estudiar el fallo de un componente estructural con sus componentes.
3. Con la ayuda del software Autodesk Inventor y los cálculos necesarios a aplicar se ha demostrado que la máquina es capaz de resistir el duro régimen de trabajo al que puede estar sometida.

# **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y CÁLCULO APROXIMADO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA BRIQUETEADORA.**

## **3.1 Generalidades del costo**

El costo de producción constituye un instrumento de control y de vital importancia, ya que el análisis del mismo refleja el conjunto de gastos incurridos en la fabricación del producto o prestación de servicio. Es también la expresión monetaria de los gastos de producción, es decir, los gastos corrientes de las empresas en la elaboración de la producción. En él se incluyen los gastos de materias primas y materiales auxiliares empleados en cualquier tipo de fabricación, los gastos de trabajo humano que representamos por salario, la parte de los activos fijos tangibles que se transfieren al producto en forma de depreciación, el valor de la energía consumida, los gastos por concepto de seguridad social, así como otros gastos necesarios que apoyan indirectamente todo tipo de fabricación.

El costo como categoría económica expresa la eficiencia en el trabajo, constituye un indicador generalizador de la calidad y permite comparar la producción obtenida y la magnitud de los gastos incurridos en su fabricación, reflejando en el ahorro de los recursos materiales, humanos y financieros.

Los principales elementos del costo de producción expresado en forma monetaria son:

- I. El valor de las materias primas.
- II. Materiales auxiliares empleados en la fabricación de la máquina.
- III. Los gastos relacionados con el trabajo humano, que compensa los valores de los productos para sí, representándolo por el salario.
- IV. La parte de los activos fijos tangibles que se transfieren en al producto en forma de depreciación.
- V. El valor de la energía consumida.
- VI. Los gastos indirectos y otros gastos.

## **3.2 Cálculo de las materias primas y los dispositivos**

En el diseño de la máquina se utilizó varios materiales primas y dispositivos. Para simplificar el cálculo económico del dicho se las analiza en una forma tabular

expresando el costo total por unidad o por tonelada métrica precediendo la deducción de la cantidad y precio.

**Tabla 3.1 Listado de materiales, dispositivos y piezas**

| No. | Designación                                   | Material   | UM | USD    | Cantidad utilizada | USD total |
|-----|---|------------|----|--------|--------------------|-----------|
| 1   | Cilindro hidráulico 90                        | -          | UN | 485,00 | 3                  | 1455,00   |
| 2   | Plancha 20x2000x4000 mm                       | AC-20(CT3) | TM | 332,00 | 1                  | 332,00    |
| 3   | Plancha 10x4000x6000 mm                       | AC-20(CT3) | TM | 250,00 | 1                  | 250,00    |
| 4   | Tubo sin costura 200x1500 mm                  | AC-35      | UN | 73,16  | 1                  | 73,16     |
| 5   | Tornillo M20x40<br>Tuerca M20<br>Arandela M20 | AC         |    | 1,44   | 50                 | 72,00     |
|     |   |            | UN | 0,85   | 50                 | 42,50     |
|     |   |            |    | 0,32   | 50                 | 16,00     |
| 6   | Buje cilíndrico                               | -          | UN | 5,50   | 4                  | 22,00     |
| 7   | Motor eléctrico (15 kW)                       | -          | UN | 275,00 | 1                  | 275,00    |
| 8   | Bomba hidráulica                              | -          | UN | 499,95 | 1                  | 799,95    |
| 9   | Distribuidor hidráulico                       | -          | UN | 497,95 | 1                  | 497,95    |
| 10  | Acero angular 120x120x2500 mm                 | -          | UN | 15,75  | 2                  | 31,50     |
| 11  | Acero angular 140x140x2500 mm                 | -          | UM | 22,50  | 2                  | 45,00     |
| 12  | Mangueras alta presión                        | -          | UN | 25,50  | 7                  | 178,50    |
| 13  | Depósito de aceite                            | -          | UN | 125,00 | 1                  | 125,00    |
| 14  | Tubo sin costura 30x2000 mm                   | AC-35      | UN | 38,24  | 1                  | 38,24     |

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>Costo total</b> | <b>3953,80</b> |
|--------------------|----------------|

### 3.3 Costos de materiales auxiliares

Los bienes materiales son los materiales más importantes del costo de producción, desde el punto de vista cuantitativo-monetario. Esto representa el valor de todas las materiales primas y materiales que se integran y consumen en el proceso de producción.

En la fabricación de esta máquina se utilizaron materiales auxiliares, cuyo precio fue necesario investigar en las entidades correspondientes. El costo de materiales fue determinado tomando en cuenta su precio de adquisición y la cantidad de unidades utilizadas.

Durante el proceso de soldadura se utilizaron:

**Tabla 3.2 Costo de electrodos**

| Designación        | Unidades | UM | USD/kg | Cantidad utilizada (kg) | USD           |
|--------------------|----------|----|--------|-------------------------|---------------|
| Electrodo          | Ac       | TM | 3,75   | 40                      | 150,00        |
| Recargo 10%        | -        | -  | -      | -                       | 15            |
| <b>Costo Total</b> | -        | -  | -      | -                       | <b>165,00</b> |

En el corte de materiales fueron utilizados el oxígeno y el acetileno. La siguiente tabla refleja el costo por unidad y el total de estos materiales.

**Tabla 3.3 Costo del oxígeno y acetileno**

| Materiales         | Unidades | Costo por unidad (USD) | Costo total (USD) |
|--------------------|----------|------------------------|-------------------|
| Balón de oxígeno   | 1        | 70,00                  | 70,00             |
| Balón de acetileno | 1        | 85,00                  | 85,00             |
| Recargo 10%        |          |                        | 15,5              |
| <b>Costo Total</b> | -        | -                      | <b>170,50</b>     |

### 3.4 Gastos relacionados con el trabajo humano

El salario es la expresión monetaria de la parte fundamental del producto necesario que se crea en las empresas, y se destina al consumo individual de los trabajadores, incluyendo las remuneraciones que se realicen a los obreros, a partir del fondo de salario.

La seguridad social incluye los gastos originados por la aplicación al salario de la tasa aprobada para ella. En la realización del cálculo se desglosa por los operarios que intervienen en la fabricación de cada pieza, teniendo en cuenta la tarifa horaria correspondiente a cada uno, las horas trabajadas y el gasto de salario según las mismas.

Para determinar el gasto de salario se multiplicaron las tarifas horarias por las horas que debe trabajar cada obrero, dado el salario devengado por cada trabajador, y este se multiplica por el coeficiente empleado para vacaciones (9,09%) y el coeficiente empleado para la seguridad social que representa el 14% sobre la suma del salario y las vacaciones.

El gasto total en salario y seguridad social se determinó por la suma del salario, las vacaciones y la seguridad social. Esto se representa en la siguiente tabla.

**Tabla 3.4 Gastos de salarios y seguridad social**

| Obreros                | Horas de trabajo | Tarifa horario | Gasto de salario (MN) |
|------------------------|------------------|----------------|-----------------------|
| Soldador A             | 64,02            | 1,62           | 104,10                |
| Soldador B             | 101,39           | 1,33           | 134,81                |
| Pailero                | 69,32            | 1,56           | 109,29                |
| Tornero B              | 41,5             | 1,72           | 71,46                 |
| Tornero C              | 12,65            | 1,1            | 13,96                 |
| Fresador B             | 55,98            | 1,3            | 72,60                 |
| Ayudante               | 70,11            | 0,8            | 56,60                 |
| Taladrador B           | 42,43            | 0,86           | 36,80                 |
| Cortador de materiales | 11,57            | 0,91           | 10,58                 |
| Total de salario       |                  |                | 610,20                |
| Total de vacaciones    |                  |                | 61,02                 |

|                    |  |  |                                     |
|--------------------|--|--|-------------------------------------|
| Total de seguridad |  |  | 91,53                               |
| <b>Total</b>       |  |  | <b>762,75</b><br><b>(USD 31,78)</b> |

### 3.4 Gasto generado por la amortización de los equipos

La amortización es el traspaso gradual del valor de los medios de trabajo, a medida que se desgastan, a los productos que se elaboran y la utilización de ese valor para la reproducción ulterior de los fondos fijos de producción.

Los descuentos de amortización representan el valor en forma monetaria de los fondos fijos en funcionamiento, traspasado a la producción elaborada y se incluye en el costo de producción. Con la amortización se persigue acumular recursos para reponer el gasto de los fondos fijos durante su tiempo de explotación, así como restituirlos totalmente cuando se les da de baja en la producción.

La amortización incluye los gastos calculados a partir del valor inicial de los activos fijos tangibles, aplicándole las tasas de amortización establecidas para cada equipo.

Para la realización del cálculo que se refleja en la tabla siguiente, se tomaron en cuenta los precios de los equipos, el porcinito establecido para cada uno y el tiempo efectivo de utilización de los mismos.

**Tabla 3.5 Amortización de los Equipos**

| Máquina                   | País | Precio(USD) | Amortización actual (USD) | Amortización por horas(USD) | Tiempo efectivo (h) | Gasto total(USD) |
|---------------------------|------|-------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|
| Taladro 2 M 55            | URSS | 2131,82     | 42,64                     | 0,018                       | 43,43               | 0,78             |
| Rectificador de soldadura | URSS | 1748,48     | 34,97                     | 0,015                       | 172,43              | 2,59             |
| Torno 16K20               | URSS | 35178,00    | 703,56                    | 0,305                       | 54,41               | 16,59            |
| Segueta mecánica          | URSS | 850,00      | 17,00                     | 0,007                       | 9,57                | 0,07             |
| Fresadora                 | URSS | 7054,77     | 141,10                    | 0,061                       | 55,98               | 3,41             |

|                    |      |         |        |       |       |              |
|--------------------|------|---------|--------|-------|-------|--------------|
| 6 P12 y 13         |      |         |        |       |       |              |
| Rectificador 3Y132 | URSS | 4100,00 | 82,00  | 0,036 | 18,00 | 0,65         |
| Equipo de oxicorte | URSS | 13860   | 693,00 | 0,301 | 86,00 | 25,89        |
| <b>Costo total</b> |      |         |        |       |       | <b>49,98</b> |

### 3.5 Costo por el consumo de energía eléctrica

Fue necesario determinar la energía eléctrica necesaria de acuerdo del consumo de las máquinas herramientas utilizadas y la cantidad de horas trabajadas por cada uno de ellas y teniendo en cuenta los datos aportados por la empresa eléctrica del costo kWh.

= \$0.09

En la siguiente tabla se muestra dichos cálculos.

**Tabla 3.6 Costo de la energía eléctrica**

| Equipos                   | Horas de trabajo | Gasto en una hora (KW) | Energía Consumida (kWh) | Costo Total (USD) |
|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| Taladro                   | 22,15            | 8,4                    | 186,06                  | 16,74             |
| Rectificador de soldadura | 100,3            | 32,0                   | 3209,6                  | 288,86            |
| Torno                     | 30,00            | 12,97                  | 389,1                   | 35,02             |
| Segueta mecánica          | 8,00             | 1,5                    | 12,00                   | 1,08              |
| Fresadora                 | 35,00            | 13,62                  | 476,70                  | 42,84             |
| Rectificadora             | 10,00            | 10,53                  | 105,30                  | 9,48              |
| <b>Costo total</b>        |                  |                        |                         | <b>394,02</b>     |

### 3.6 Costo total de la fabricación

Después de tener valoración de los costos, analizando diversos gastos que se tendrá en la fabricación de la máquina, se refleja en la siguiente tabla el costo preliminar en las tablas anteriores.

**Tabla 3.7 Costo total de fabricación**

| <b>Gasto total de materiales y piezas.</b> | <b>USD</b>     |
|--|----------------|
| Dispositivos y materiales                  | 3953,80        |
| Materiales auxiliares                      | 335,50         |
| Gastos en salarios y seguridad social      | 31,78          |
| Amortización de equipos                    | 49,98          |
| Energía eléctrica                          | 394,02         |
| <b>Total</b>                               | <b>4765,08</b> |

### **3.7 Análisis de los resultados**

Como se observa en la tabla anterior, el costo total aproximado de fabricación de la máquina es de \$4765,08 USD.

Si incorporamos un 23% para las ganancias de la empresa productora, el costo de la máquina es de \$5861.05 USD

La máquina podría venderse en un precio que podría duplicar el precio de producción

### **3.8 Conclusiones Parciales**

1. El incremento de los precios del petróleo y su abastamiento fortalece la necesidad de usar las briquetas como fuente de energía alternativa y renovable.
2. Los resultados precedentes confirman la factibilidad técnico-económica de la densificación con briquetadoras hidráulicas y posibilitan asegurar que constituye una tecnología de densificación apropiada para las características y condiciones del carbón vegetal.
3. Se asume un precio de venta de la briquetadora elevado e igual a dos veces superior al costo de fabricación, resulta comparable con el precio unitario inferior de las tecnologías mecánicas de husillo y tres veces menor que el precio unitario correspondiente a las tecnologías afines. La ganancia, al utilizar briquetas, además de ser económica, también es medioambiental.

## CONCLUSIONES

1. La necesidad de utilizar estos residuos de carbón vegetal propicio el diseño de una máquina briqueteadora que aprovechara la existencia de estos para formar un combustible sólido que compitiera con las briquetas de carbón natural.
2. La metodología ilustrada para el diseño de una briqueteadora es una herramienta útil para cualquier ingeniero/técnico que desee construir una máquina. Es clara, concisa y sistemática mostrando los pasos necesarios para el desarrollo de un equipo partiendo de la capacidad de producción y dimensiones físicas de la briqueta.
3. La briqueteadora es flexible y sirve para compactar mezclas de carbón de diferentes densidades y granulometría. Su empleo es una respuesta definitiva e ideal a la producción de combustible sólido utilizando el residuo del carbón vegetal.
4. El análisis económico de la fabricación de la máquina briqueteadora mostró que esta era una opción viable para todos los países ya sean desarrollados o subdesarrollados.
5. Con el diseño de la briqueteadora favorecemos la eliminación de un residuo contaminante y este es transformado en un combustible renovable. Por tanto se contribuye con el cuidado del medio ambiente y se fabrica una nueva forma de energía para el futuro.

## RECOMENDACIONES

1. Promocionar el uso de briquetas por medios de comunicaciones como un combustible sólido útil para hogares e industrias según sus aplicaciones.
2. Informar la población (doméstico e industrial) sobre la importancia de utilizar esta tecnología (briquetas) para satisfacer sus demandas energéticas no solo en tiempo de crisis tradicionales, pero también en la vida cotidiana.
3. Profundizar en el tema de investigación con el objetivo de mejorar la tecnología y obtener mejores resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acre, D. D. D. S. (2013). *Proyecto de creacion de una fabrica de briquetas de aserrín en Santa Rosa del Aguaray*. Univesidad tecnologica Intercontinental, Ciencias Empresariales. Parauay.
- Arrechea, J. (1996). *Construcción y evaluación de dispositivos para la determinación de la presión transversal en la compactación de la paja de caña*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Barriendo, E. (2000). *Dispositivo para producir briquetas cilíndricas tubulares de paja de caña de diferentes dimensiones*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos .
- Betancourt, E. (1996). *Diseño de Briqueteadora Hidro-Mecánica de elevada capacidad*. (Trabajo de Diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos
- Bhattacharya, S. (2006) Biomass energy and densification: A Global Review with Emphasis on Developing Countries Energy Program. Asian Institute of Technology. *Asian Regional Research Programme in Energy, Environment and Climate. Thailand*
- Bhattacharya, S., Augustus Leon, M., y Rahman, M. (2004). A Study on Improved Biomass Briquetting. *Energy Program, School of Environment, Resources and Development. Asian Institute of Technology.*
- Castex, I. (1992). *Proyecto Constructivo de briqueteadora Hidráulica para paja de caña*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Chicago, C. d. I. R. d. A. E. (2007). Estudio de mercado para las briquetas de carbon vegetal en el mercado de los Estados Unidos. Michigan, Chicago. Republica de Argentina en Chicago.

- Colectivo de autores. (1986). *Tecnología de construcción maquinaria*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Cuenca, E. G. F. (2011). *Desarrollo de un Proceso Tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera cascarilla de arroz, y pruebas de producción de Gas Pobre*. Facultad de Mecánica. Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Díaz Torres, J., y Bravo Nunez, J. (1997). *Diseño de la maquina empacadora briqueteadora hidráulica de paja de caña*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Dwight Abu, P. (2008). *Metodología del diseño de una máquina briqueteadora flexible multipropósito*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Exportaciones, A. d. A. a. I. (2003). *Informe de Exportacion*. Argentina.
- FAO. (1983). *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*. Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- Feodosiev, V. (1980). *Resistencia de materiales (3ed)*. Moscu, Rusia: Mir.
- Fernández L. (1983) *Resistencia de materiales*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Fundora Beltrán, P. (2002). *Estudio de la densificación de la paja de caña sin preparación previa con tecnología hidráulica para el perfeccionamiento de su proceso tecnológico*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Granada Álvarez, E. (1999). *Estudio de la influencia de los parámetros humedad, temperatura y presión en el proceso de densificación, mediante auto-aglomeración, de biomasa ligneocelulósica residual*. (Tesis Doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Minas, Universidad de Vigo, España.
- Hernández Sampier, R. (2003). *Metodología de la Investigación*. La Habana, Cuba: Félix Varela.

- Hernandez, R. S. (2016). *Caracterización y evaluación de los residuales de la Empresa de Glucosa y caracterización de los "lodos" que se comercializan para el alimento animal*. Cienfuegos, Cuba: Centro de Estudios Ambientales en Cienfuegos.
- Herrera, L. M. I. (enero -2017). *Carbon Vegetal, una apuesta razonable*. Granma, Cuba.
- Maldonado, A. L. M. (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. Facultad de Ingeniería. Guatemala, Universidad de San Carlos.
- Mani, Tabil, L., y Sokhansanj, S. (2004). *Evaluation of compaction equations applied to four biomass species*. Canada: Canadian biosystems engineerig.
- Marticorena, V. E. R. (2014). *Aprovechamiento de la cachaza, la colofonia y la arcilla como aglutinantes en la formulación de briquetas energéticas utilizando residuos de aserrío*. Guatemala, Universidad San Carlos.
- Moran, E. A. T. (2010). *Estudio de factibilidad para la construccion de una fabrica de briquetas de caron utilizando tamo de arroz localizada en la Proincia del Guayas*. Facultad de Ingenierias. Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana.
- Pardillo, Y., y Polin, J. (1996). *Diseño y construcción de la briqueteadora hidráulica para paja de caña*. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Peraza, L., y Pascual, N. (1994). *Modelo físico-matemático para la compactación de la paja de caña*. Universidad de Cienfuegos, Cuba
- Pisarenko. (1979). *Manual de resistencia de materiales. La República Socialista de Rumania*. Moscu, Rusia: Mir
- Przybylski, J. (2000). *Dispositivos especiales para el maquinado*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Reed, G. J. (1979). *Biomass densification energy requirements*. Washington D.C. American Chemical Society
- Reshetov, D. (1990). *Elementos de Máquinas*. La Habana: Pueblo y Educación.

Sánchez Pérez, Y. (1993). Diseño de briqueteadora hidráulica para producir briquetas tubulares. (Trabajo de Diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos

Sánchez, Y. (2001). Diseño de briqueteadora Multipropósito para producir briquetas macizas y tubulares de paja de caña. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Sokhansanj, S., y Turhollow, A. (2004). Biomass densification-Cubing operation and cost for corn stower.

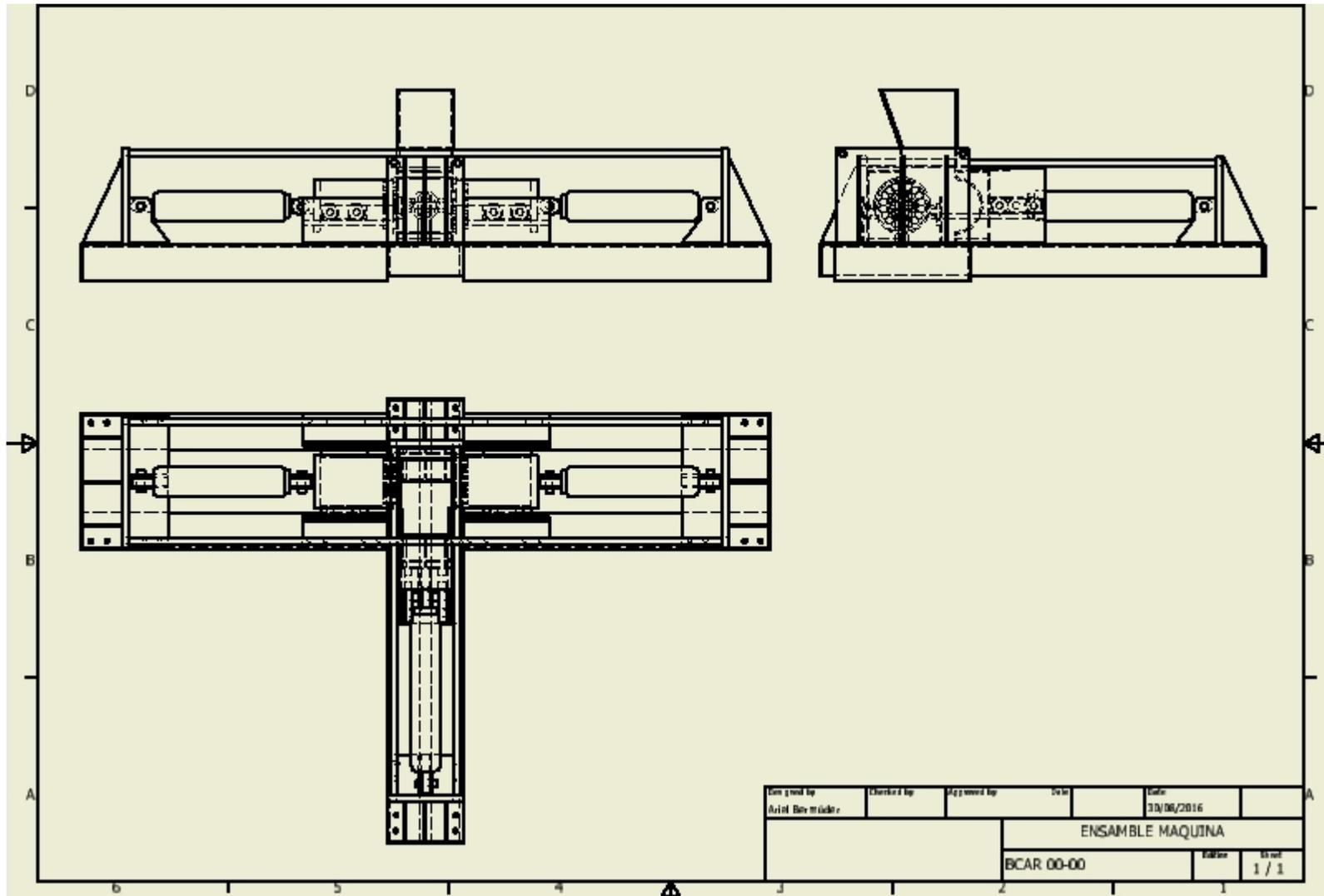
Terence James, A. (2010). Diseño de una briqueteadora hidráulica para producir briquetas multitubulares de biomasa. (Trabajo de diploma). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos

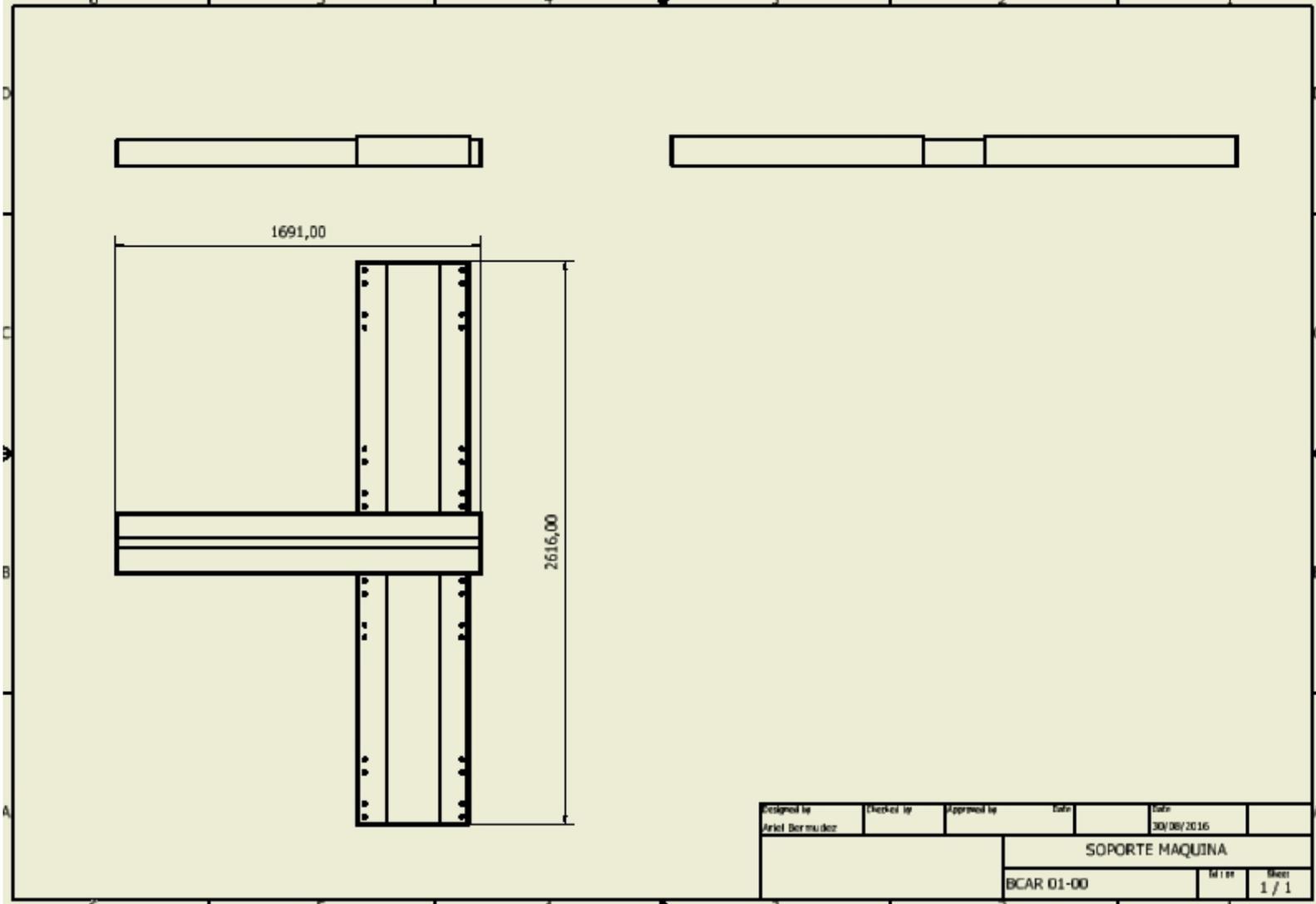
Torres, J.C. (2005). Estudio del proceso de alimentación o carga de briqueteadoras hidráulicas y su influencia en la selección del sistema hidráulico apropiado. (Tesis de Maestría), Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

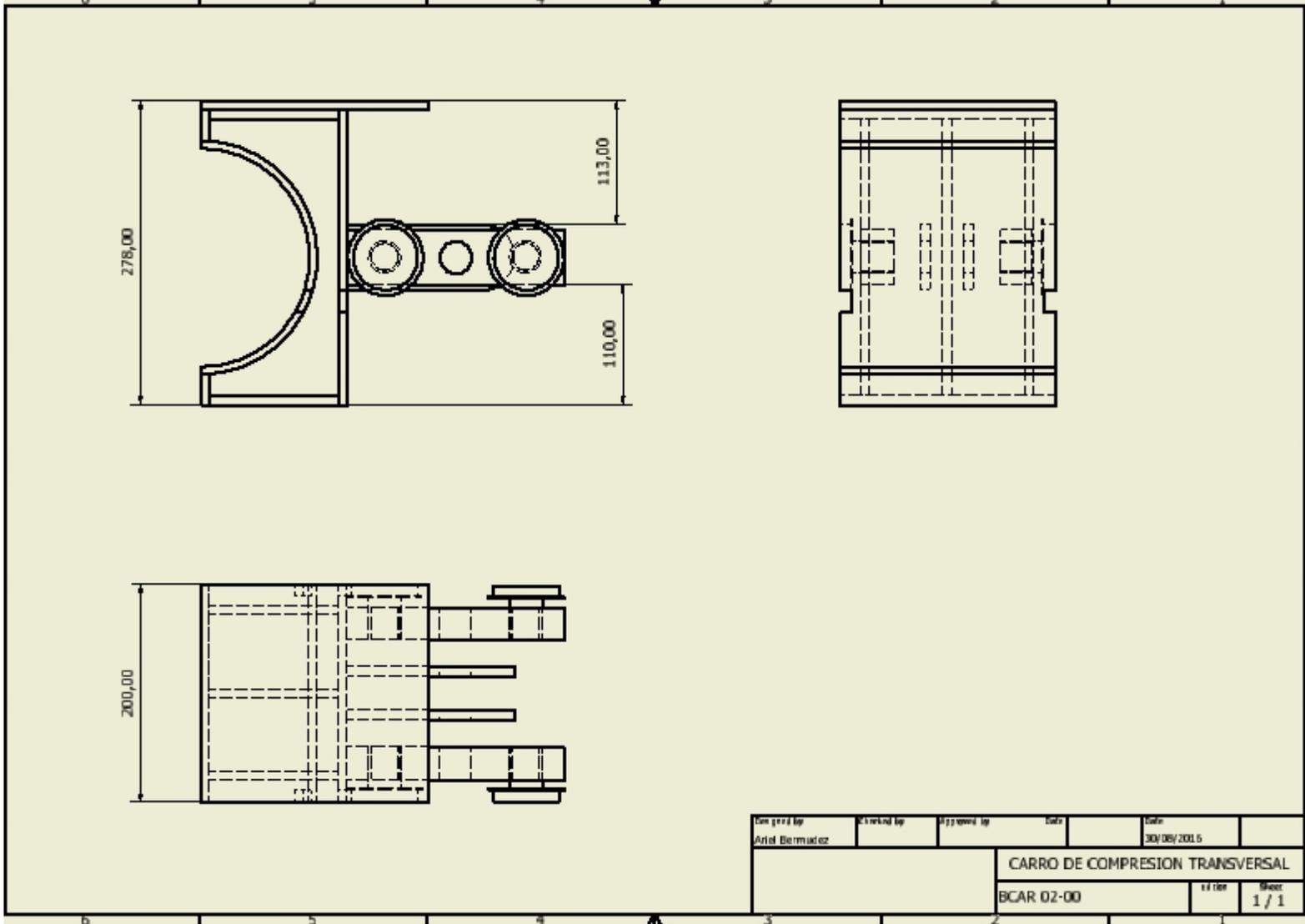


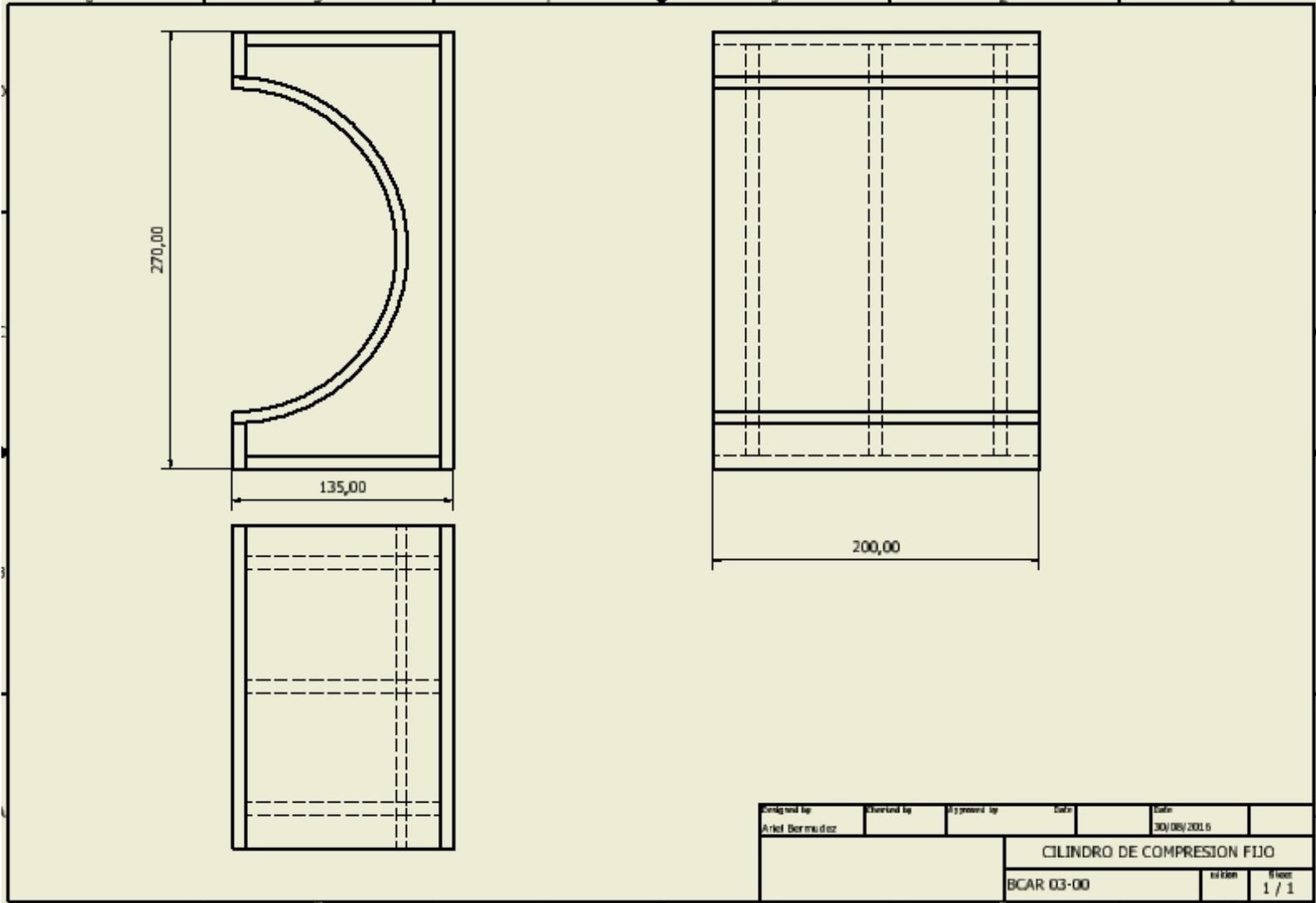
| FOR<br>✓ | MAT  | ZONA     | POSICION | CODIGO | DENOMINACION             | CANT.               | OBS.        |
|----------|------|----------|----------|--------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1        | 2    | 3        | 4        | 5      | 6                        | 7                   |             |
|          |      |          |          |        | <b>ART. NORM.CONT'D</b>  |                     |             |
|          |      |          |          |        | TORNILLOS M20x60         | 50                  |             |
|          |      |          |          |        | NC 57-76:85              |                     |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     |             |
|          |      |          |          |        | TUERCA M20 .NC 57-76:85  | 50                  |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     |             |
|          |      |          |          |        | ARANDELA M20 NC 57-76:85 | 50                  |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     |             |
|          |      |          |          |        | <b>OTROS ARTICULOS</b>   |                     |             |
|          |      |          |          |        | CILINDRO HIDRAULICO      | 3                   |             |
|          |      |          |          |        | BUJE CILINDRICO          | 12                  |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     |             |
|          |      |          |          |        | <b>MATERIALES</b>        |                     |             |
|          |      |          | SAE 6013 |        | ELECTRODOS               |                     |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     | CANT.POR    |
|          |      |          |          |        |                          |                     | TECNOLOGIA  |
|          |      |          |          |        |                          | HOJA NO.            | CANT. HOJAS |
|          |      |          |          |        |                          | <b>BHM 00-00-00</b> |             |
|          |      |          |          |        |                          |                     |             |
| MOD      | CANT | NO.NOTIF | FIRMA    | FECHA  |                          |                     |             |

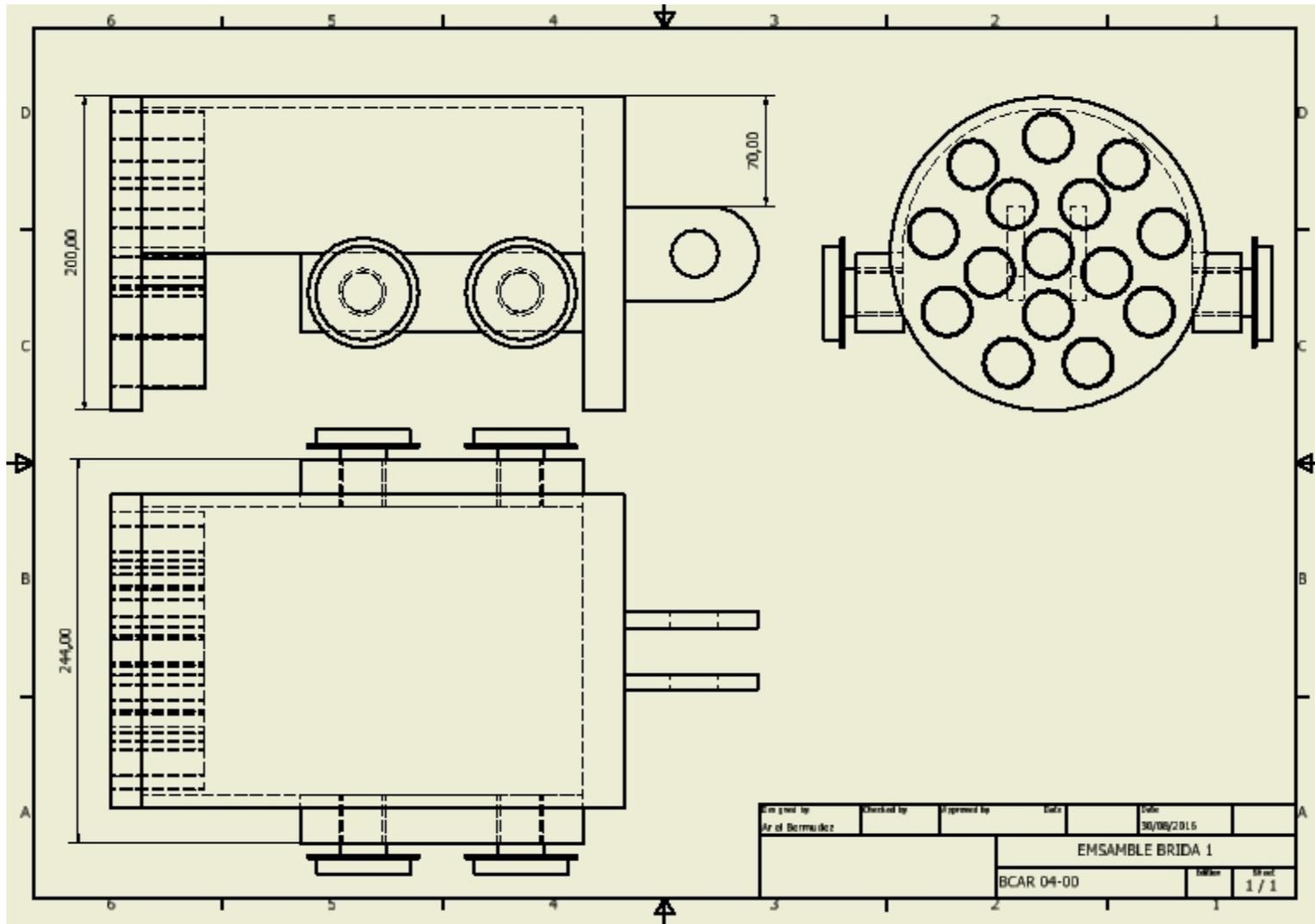
Anexo 2

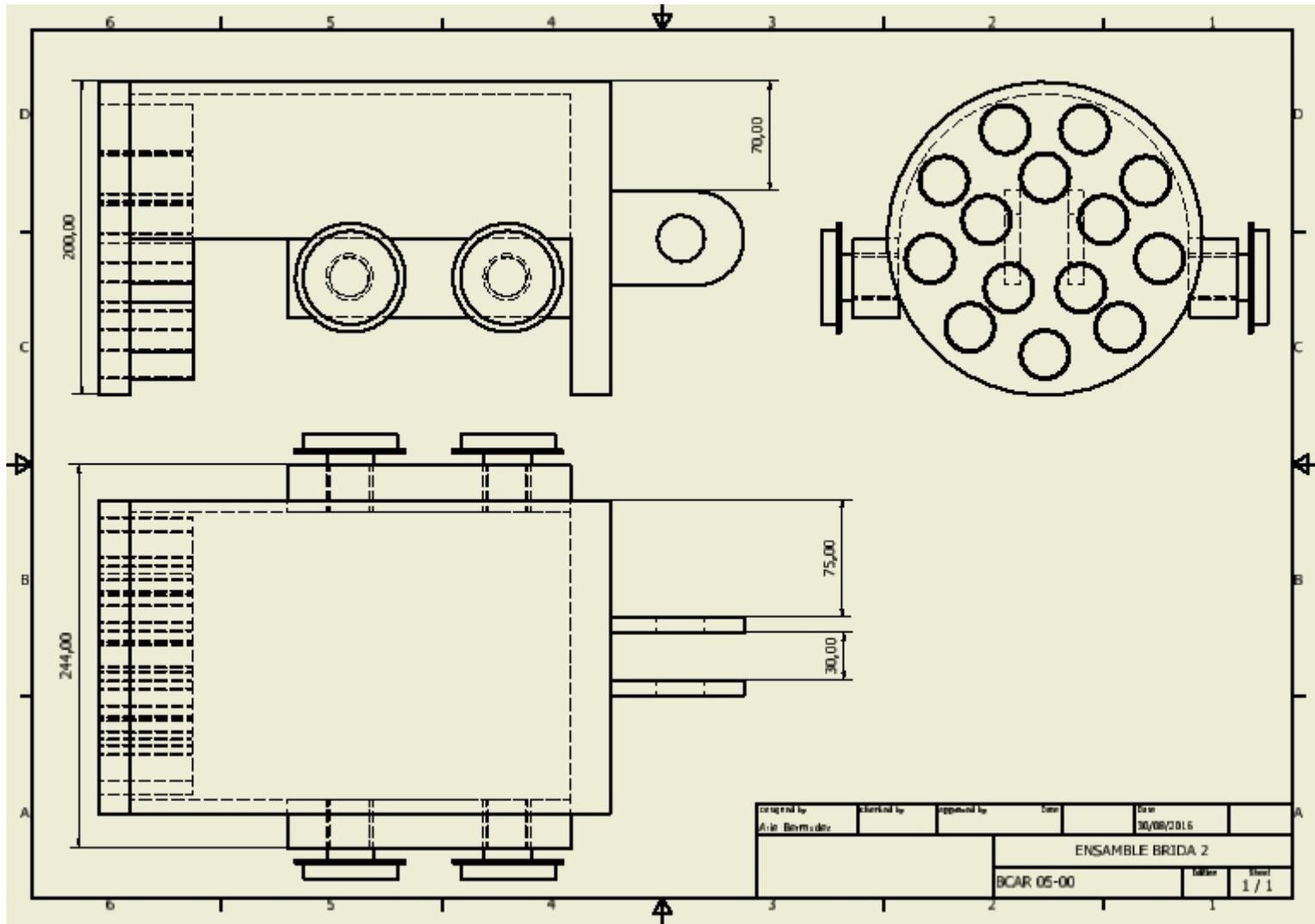


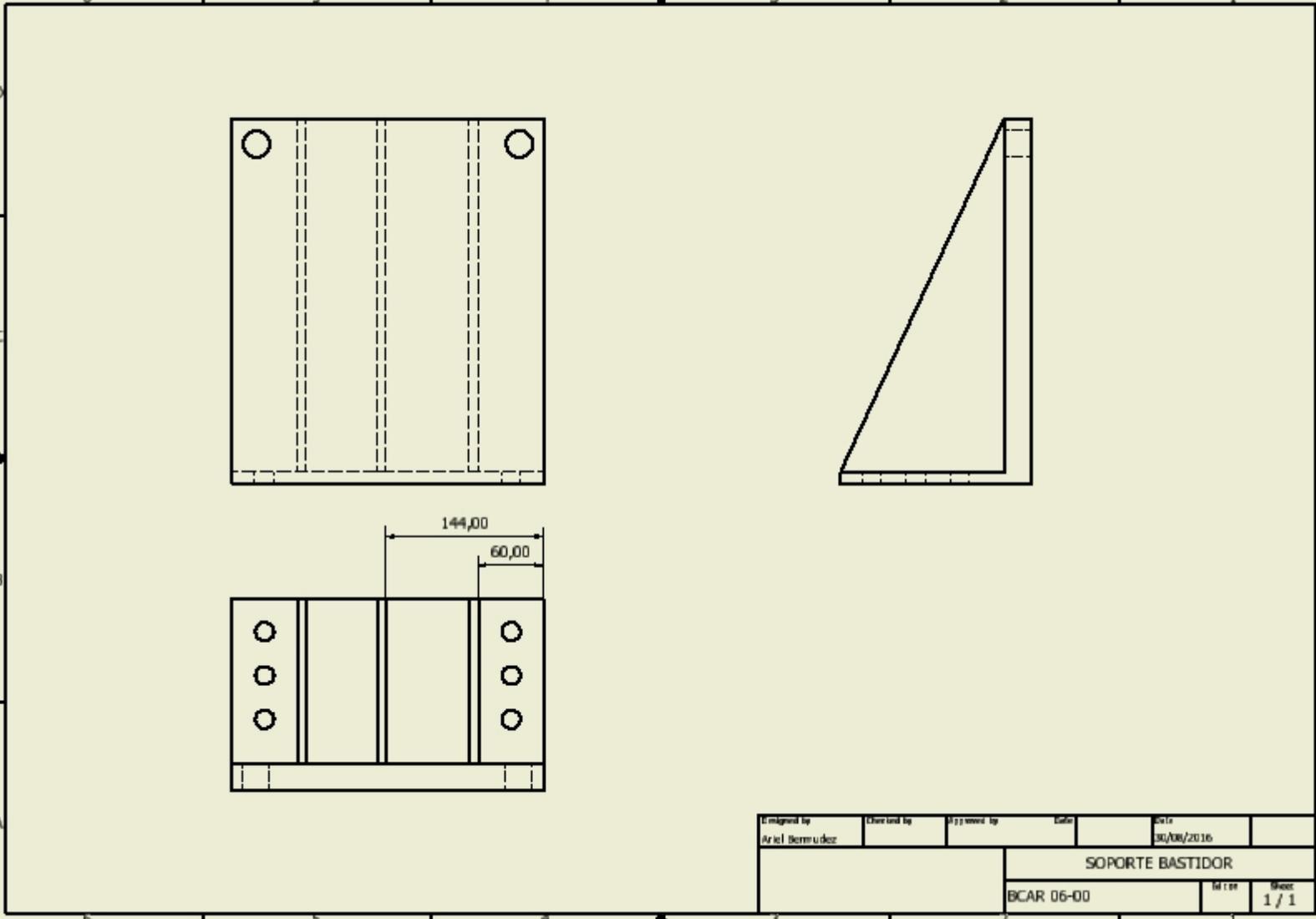


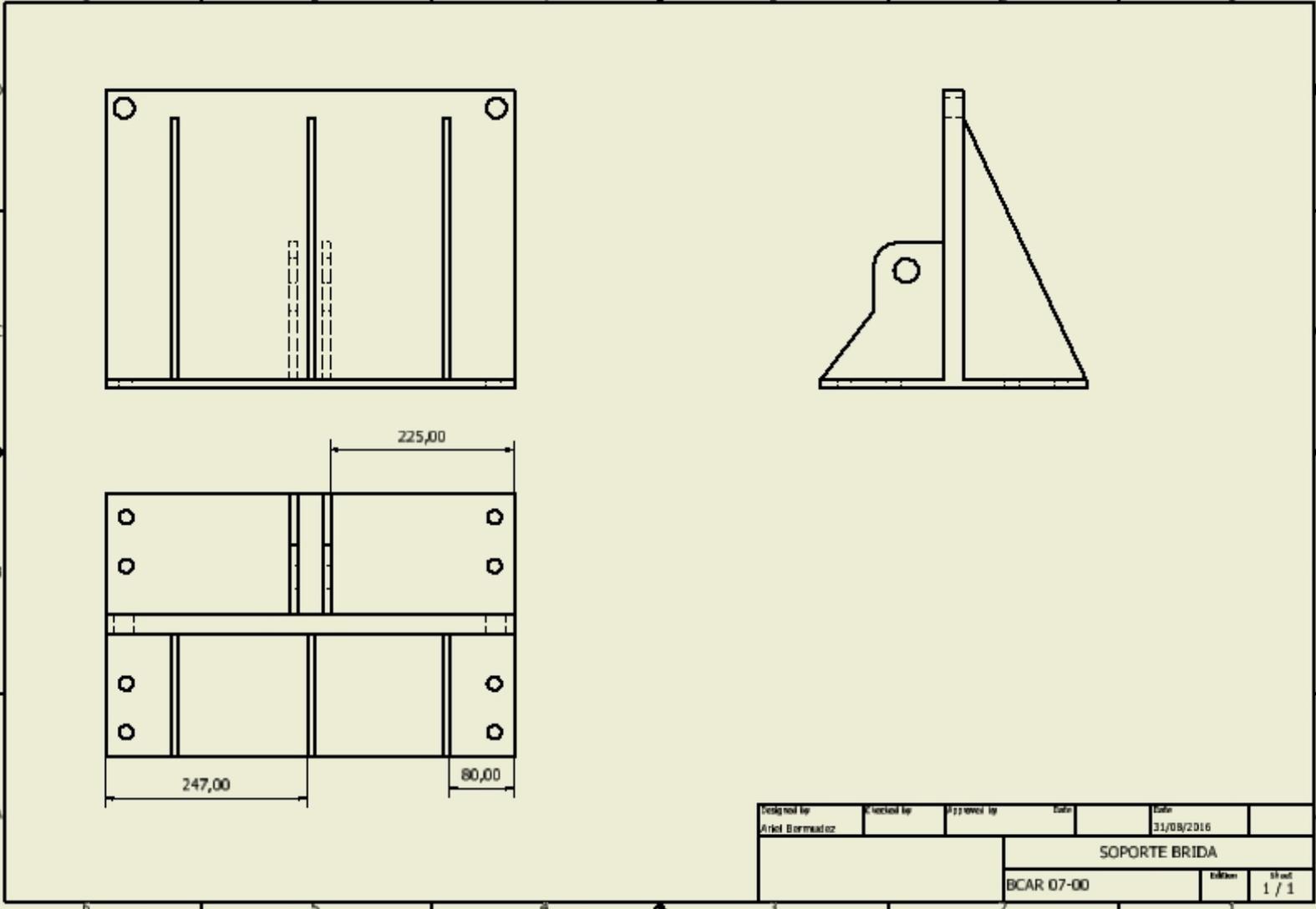


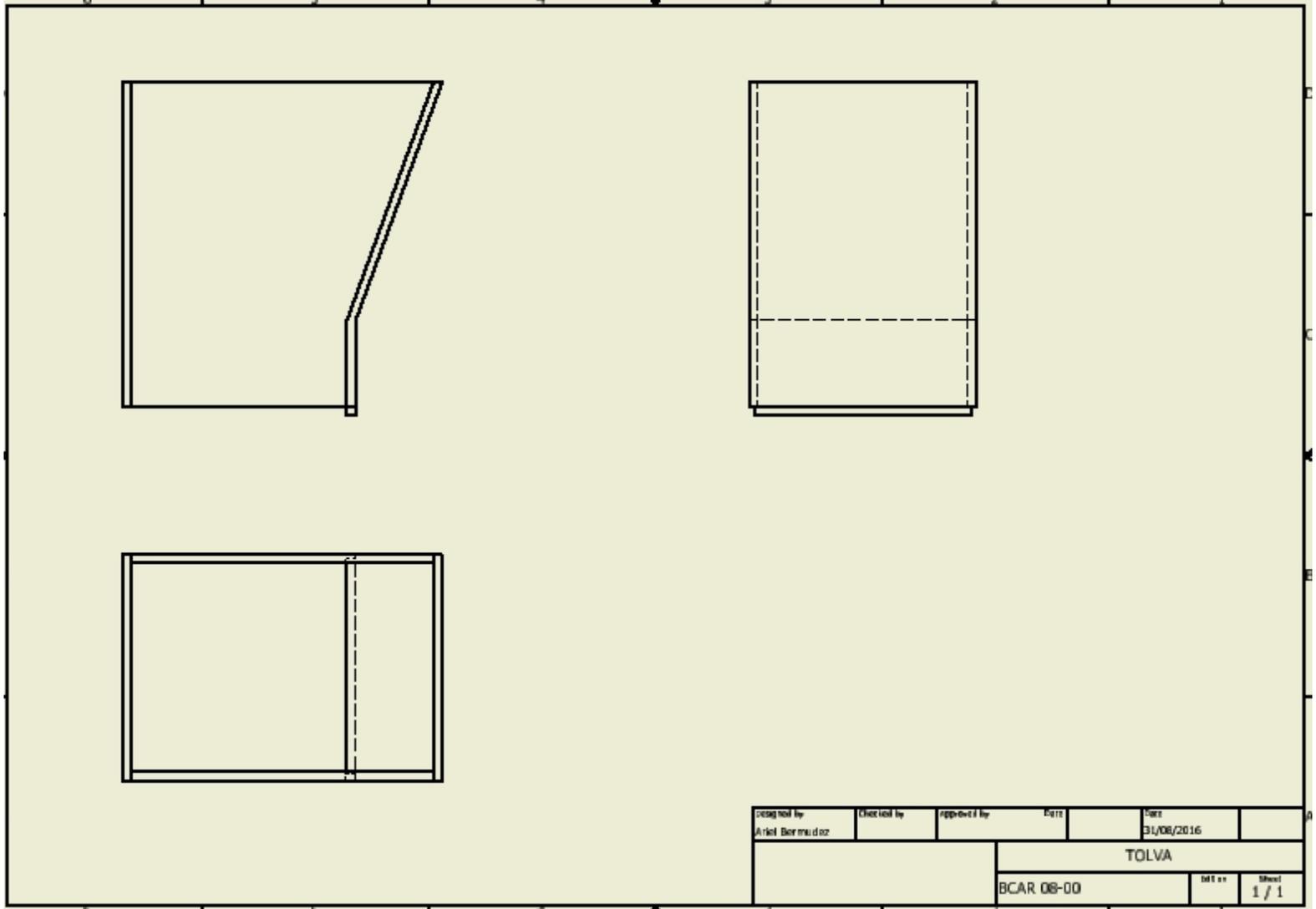




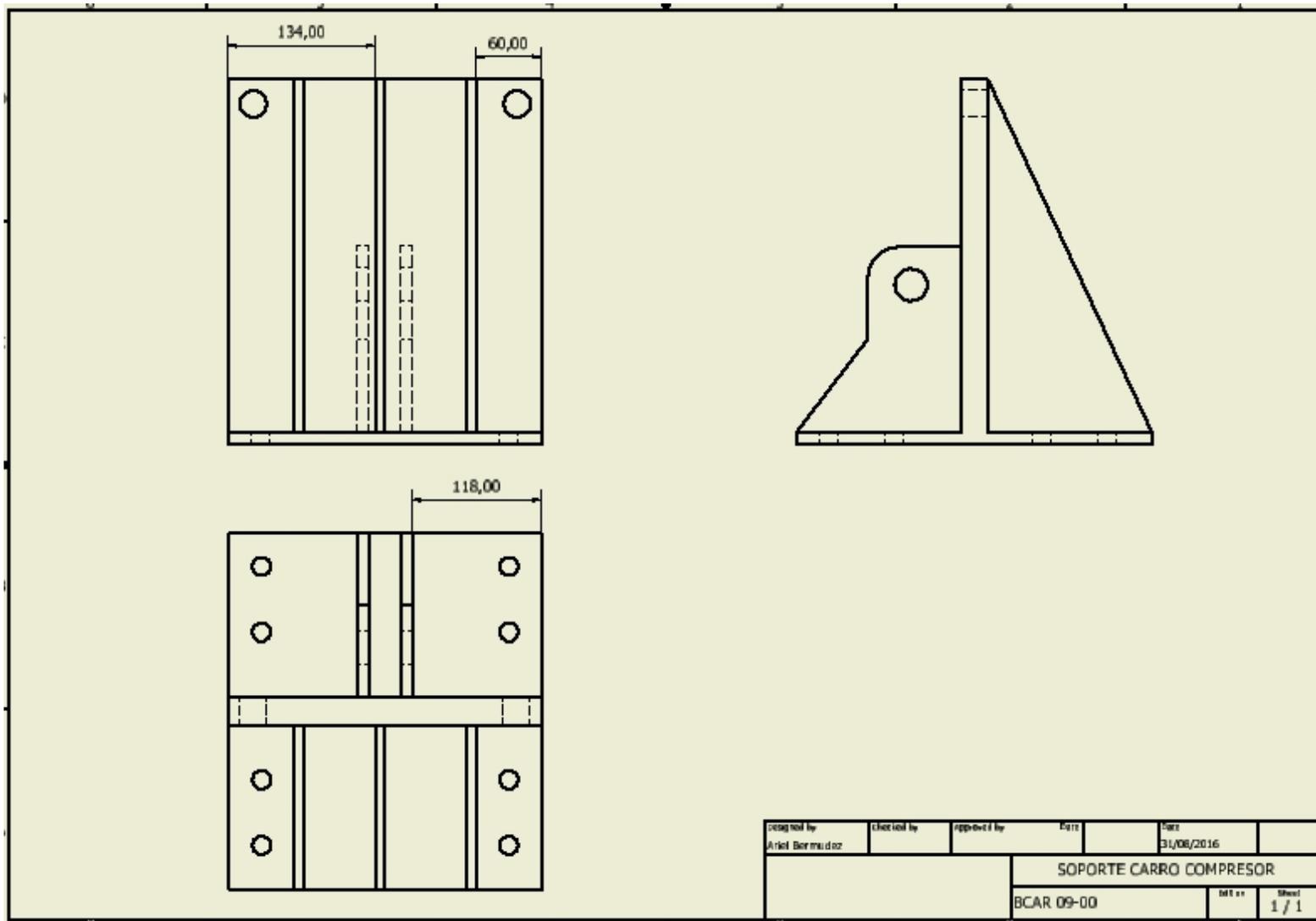


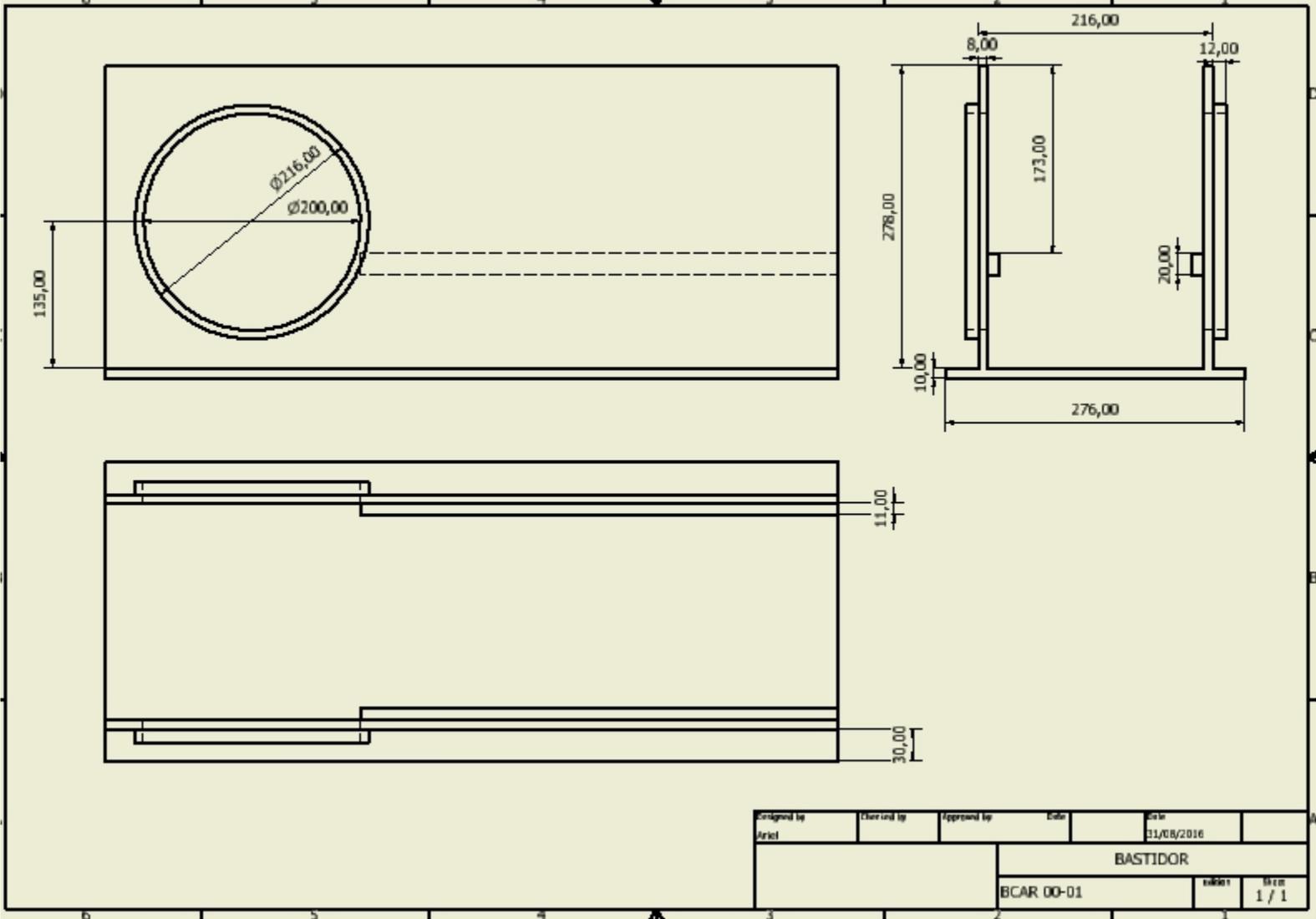


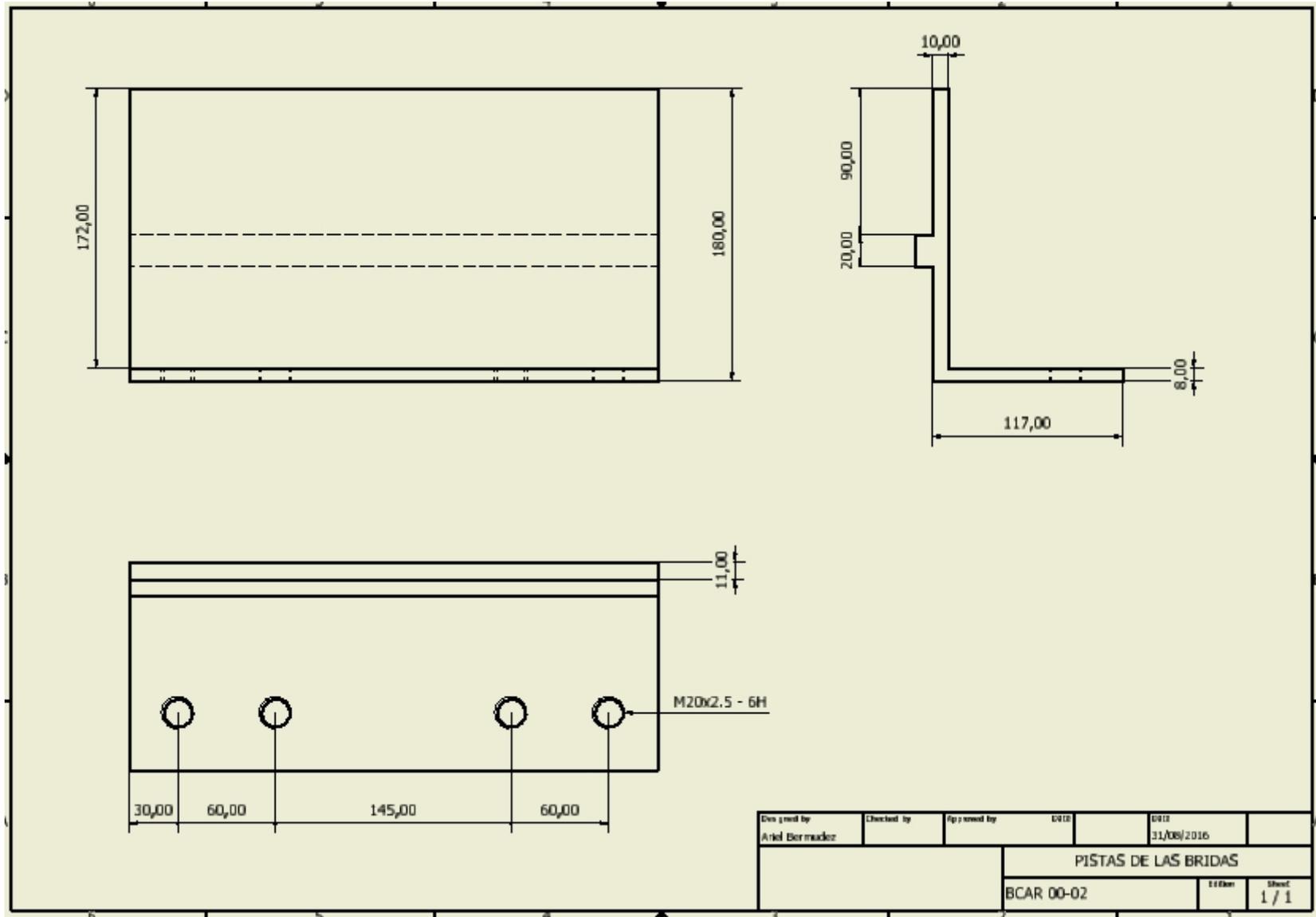


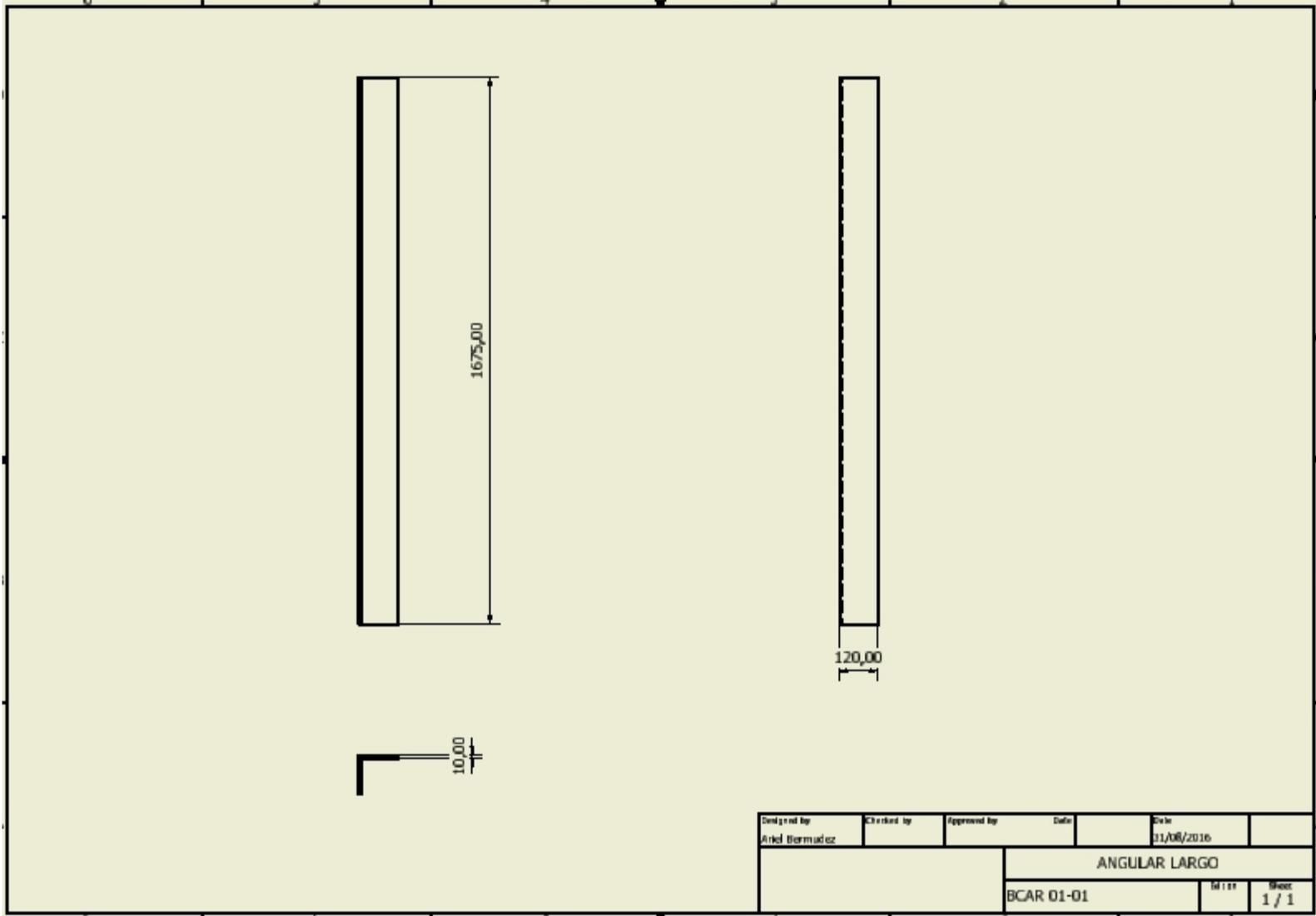


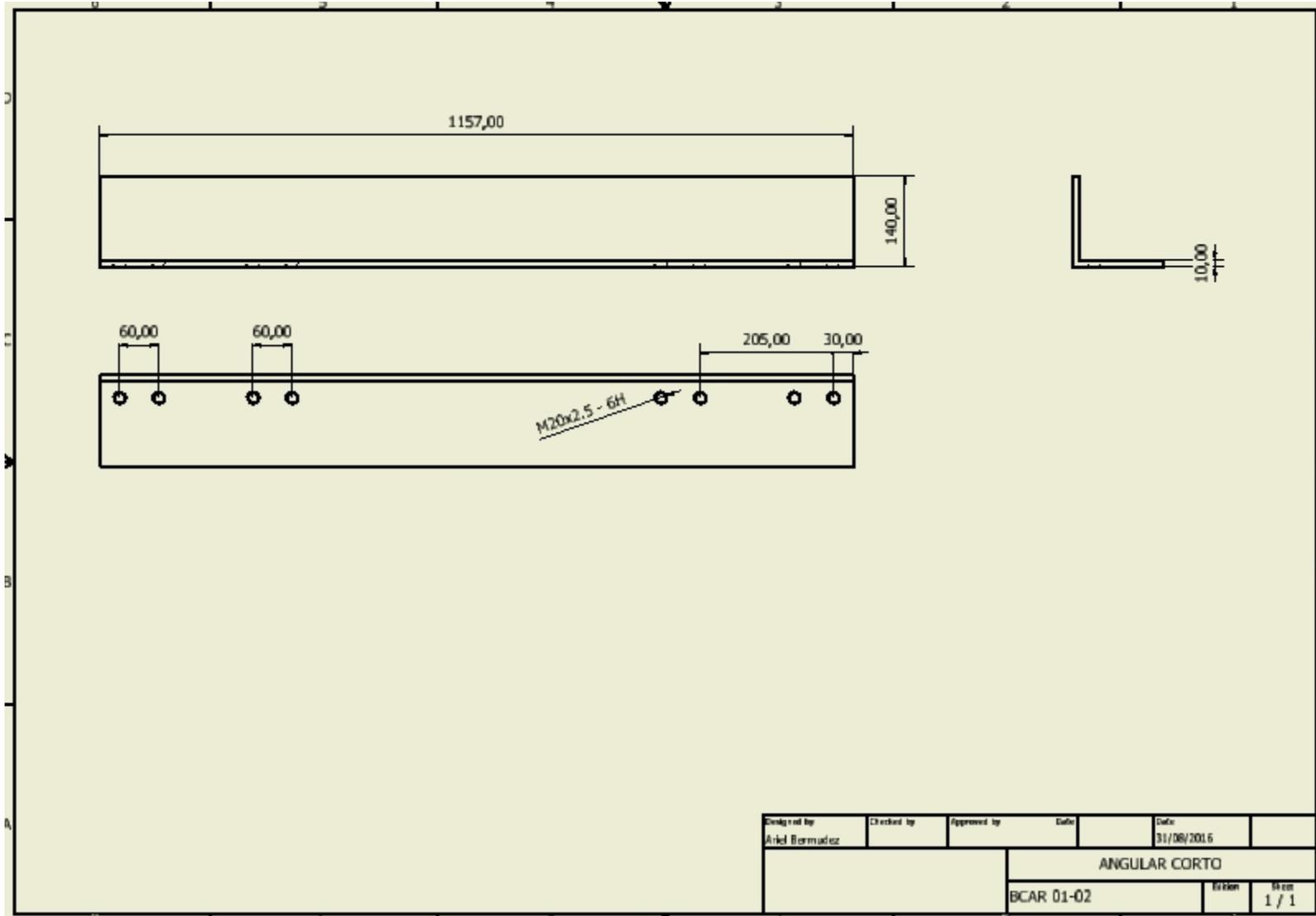
|                               |            |             |            |                    |
|-------------------------------|------------|-------------|------------|--------------------|
| Designed by<br>Ariel Bermudez | Checked by | Approved by | Part       | Date<br>31/08/2016 |
|                               |            |             | TOLVA      |                    |
|                               |            |             | BCAR 08-00 | Sheet<br>1 / 1     |

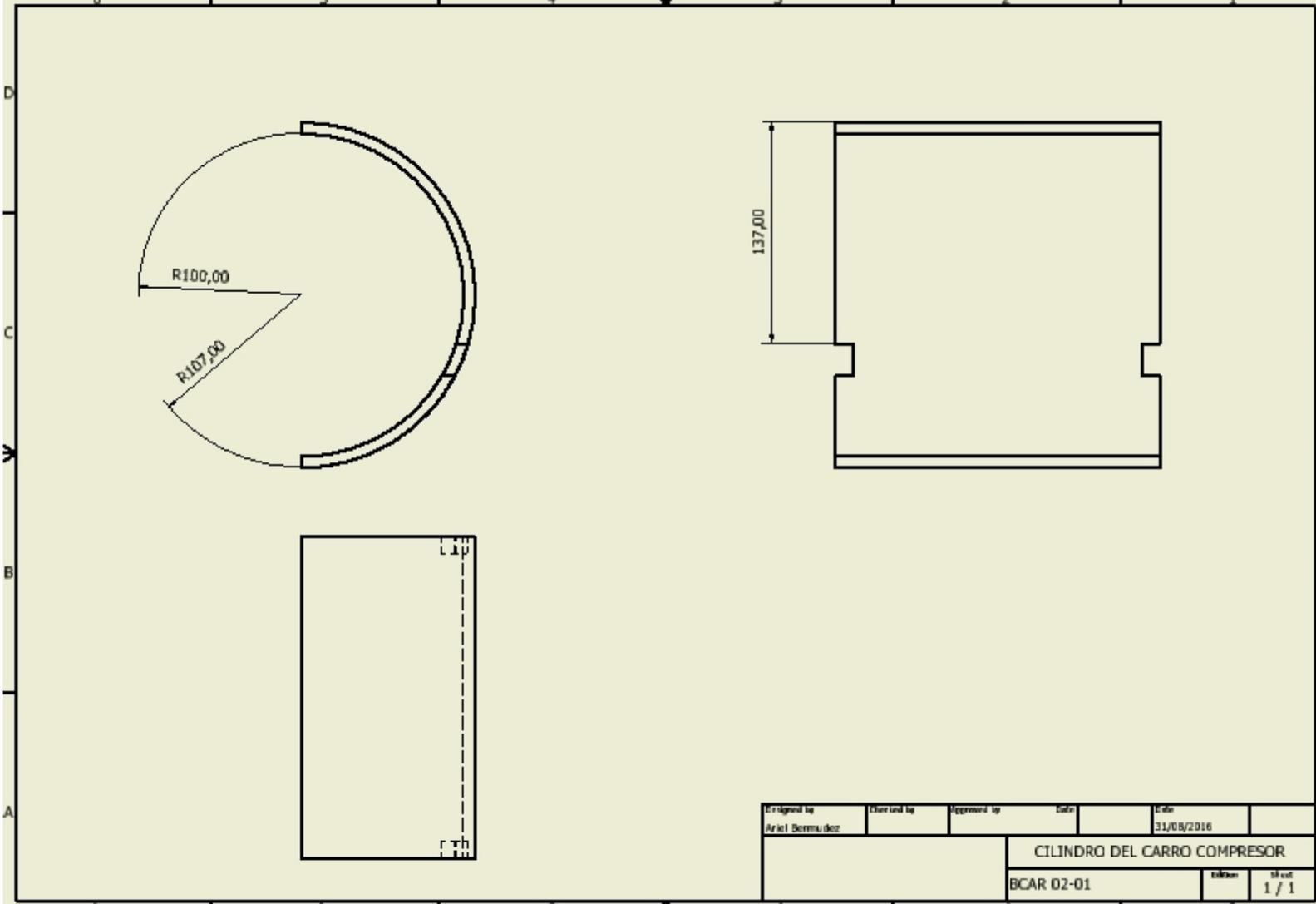


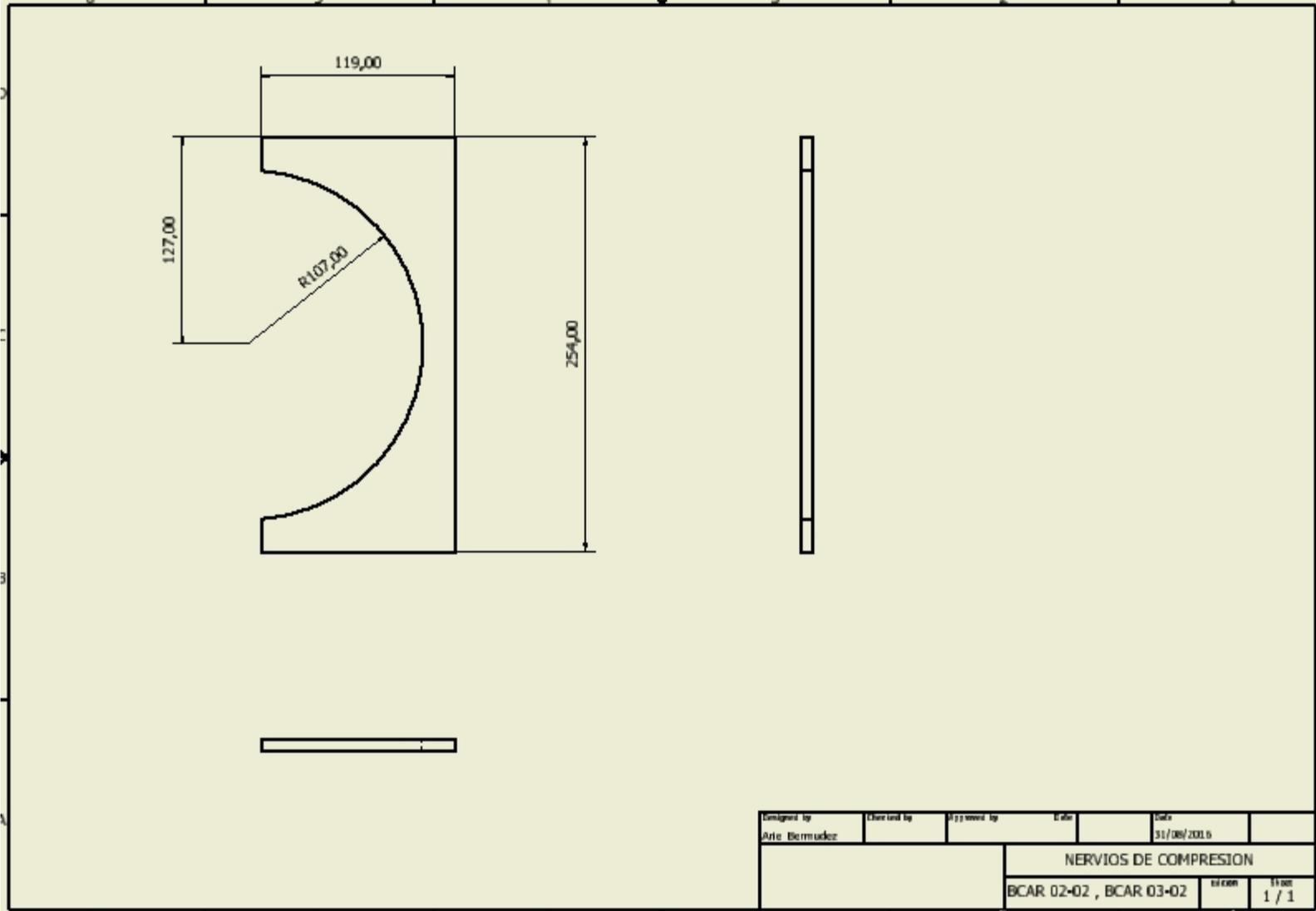


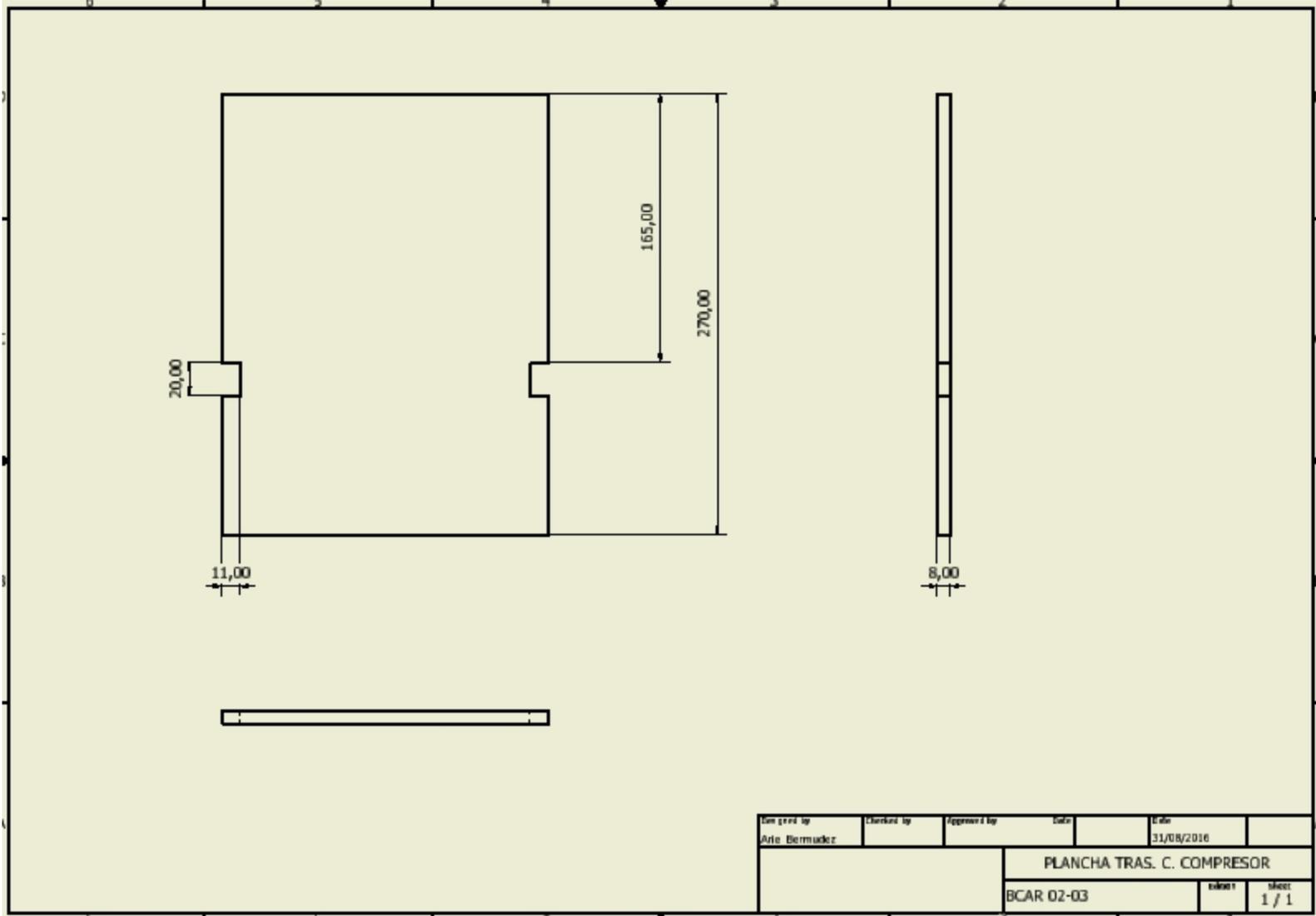


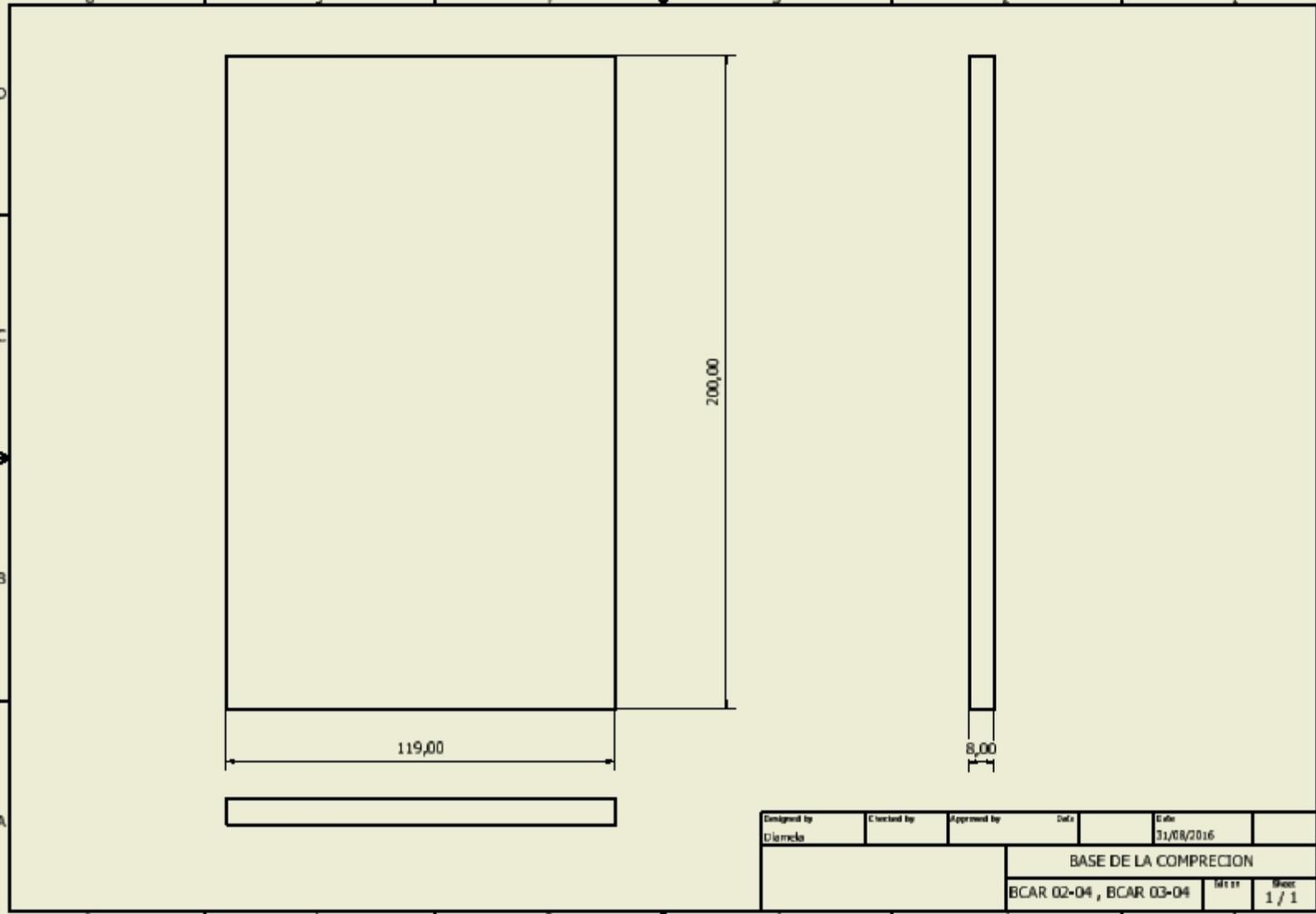


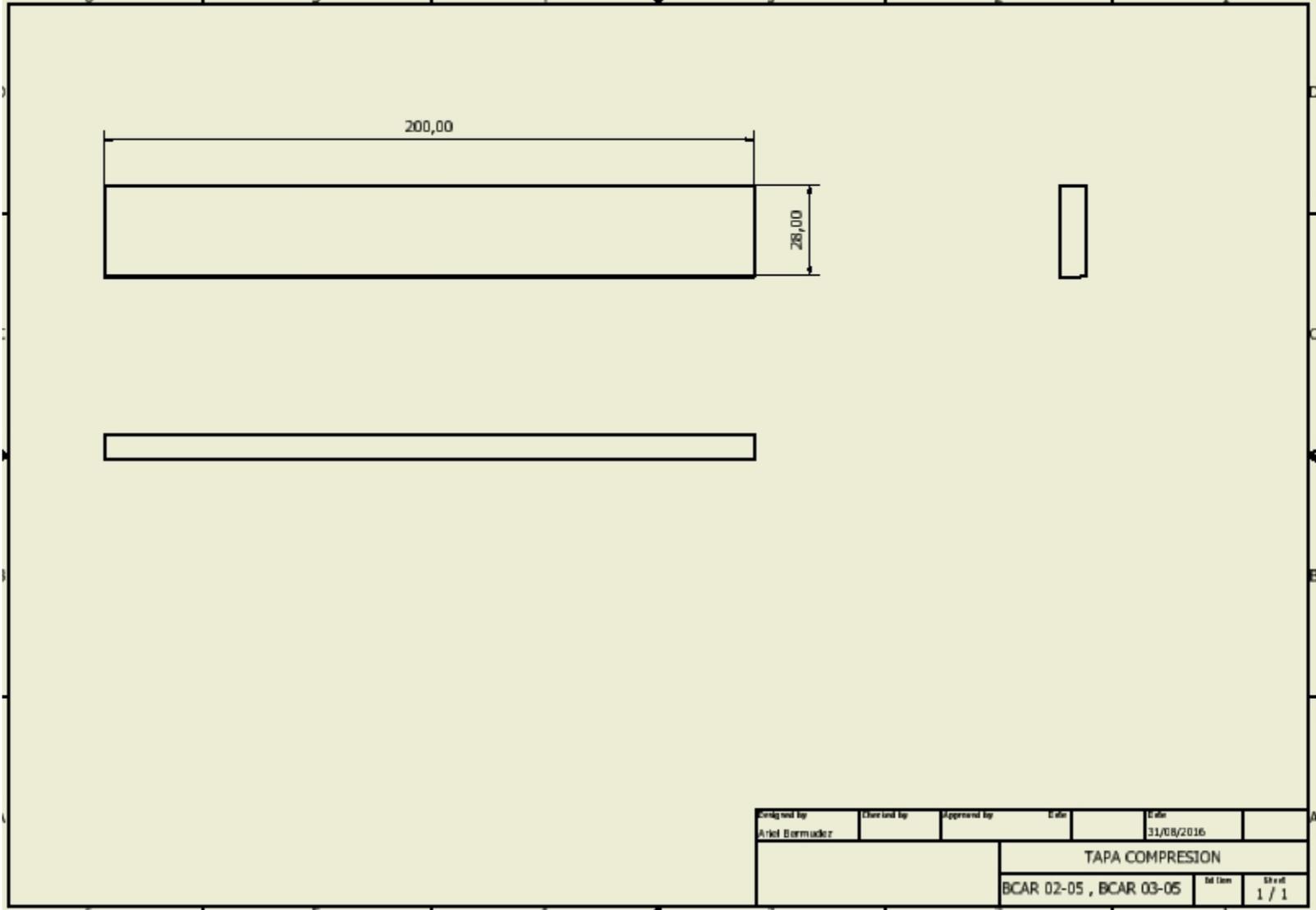


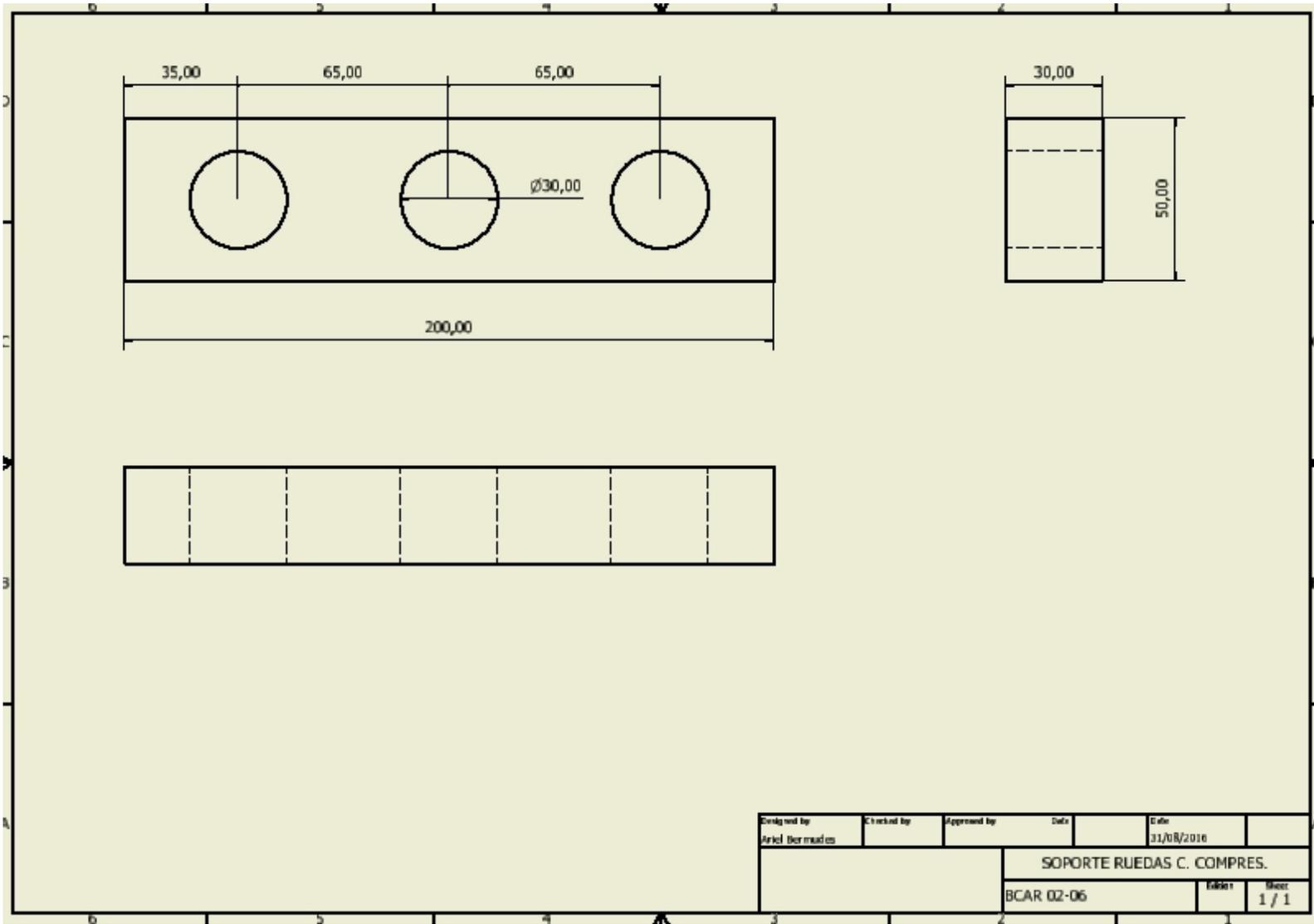


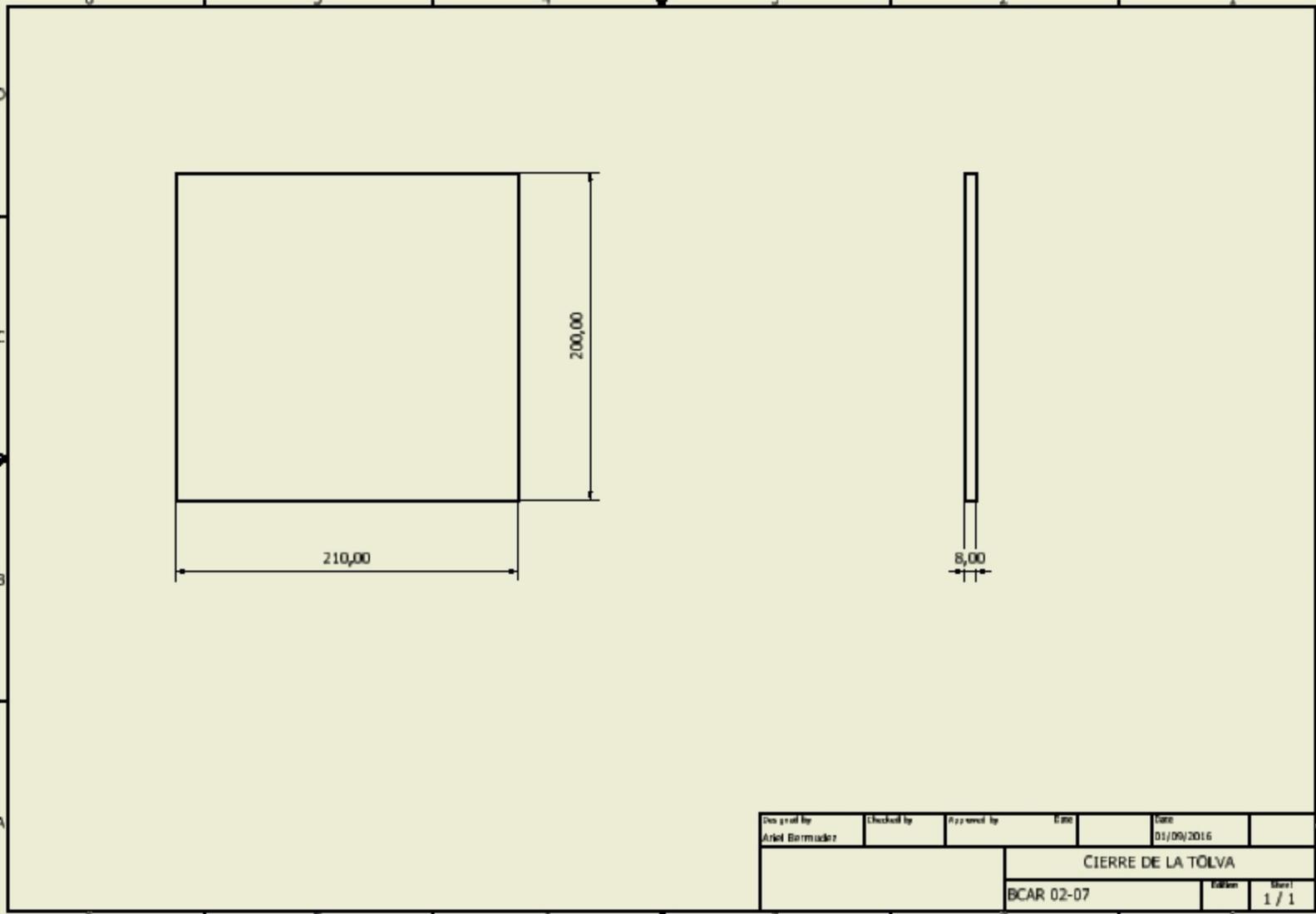


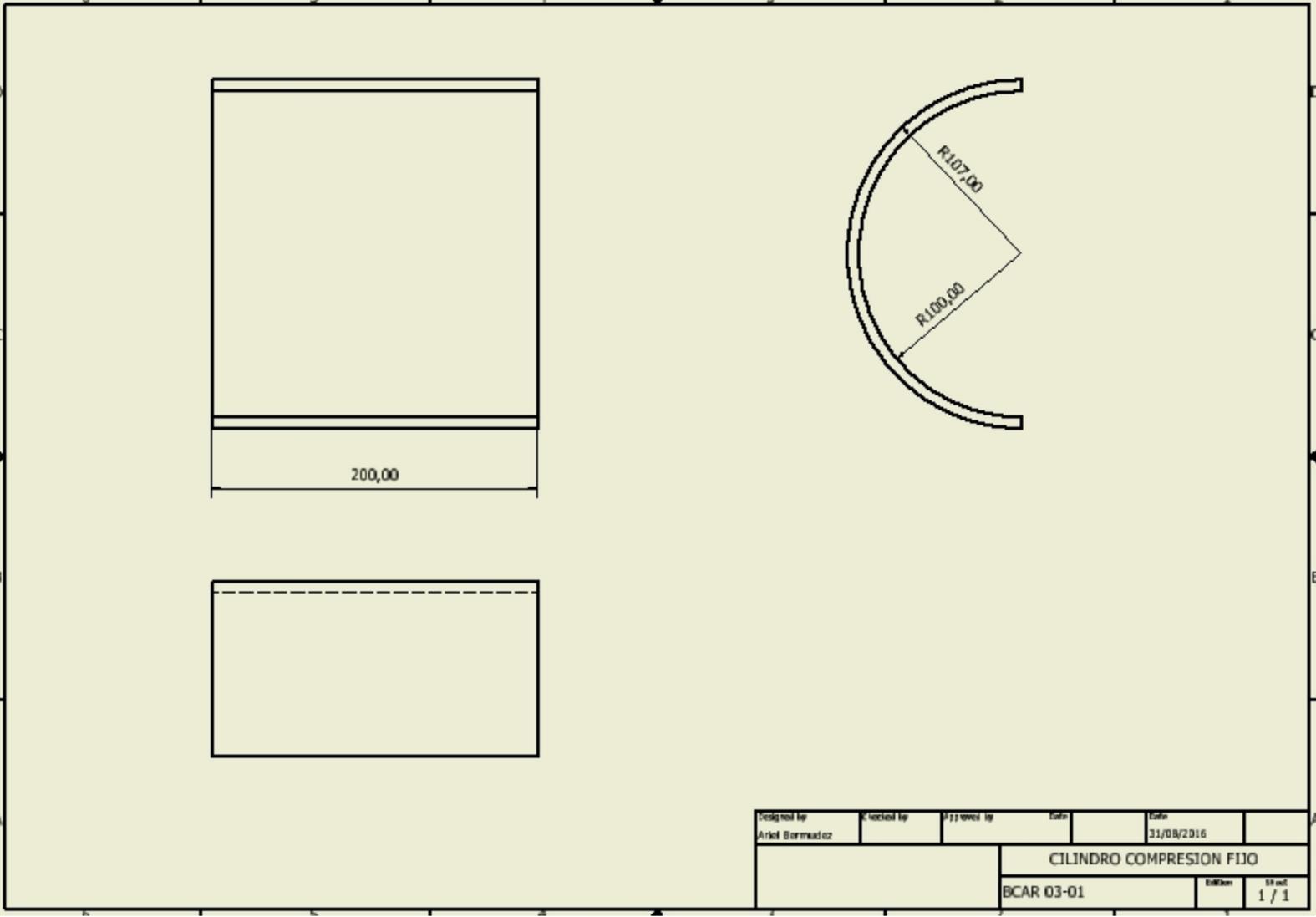


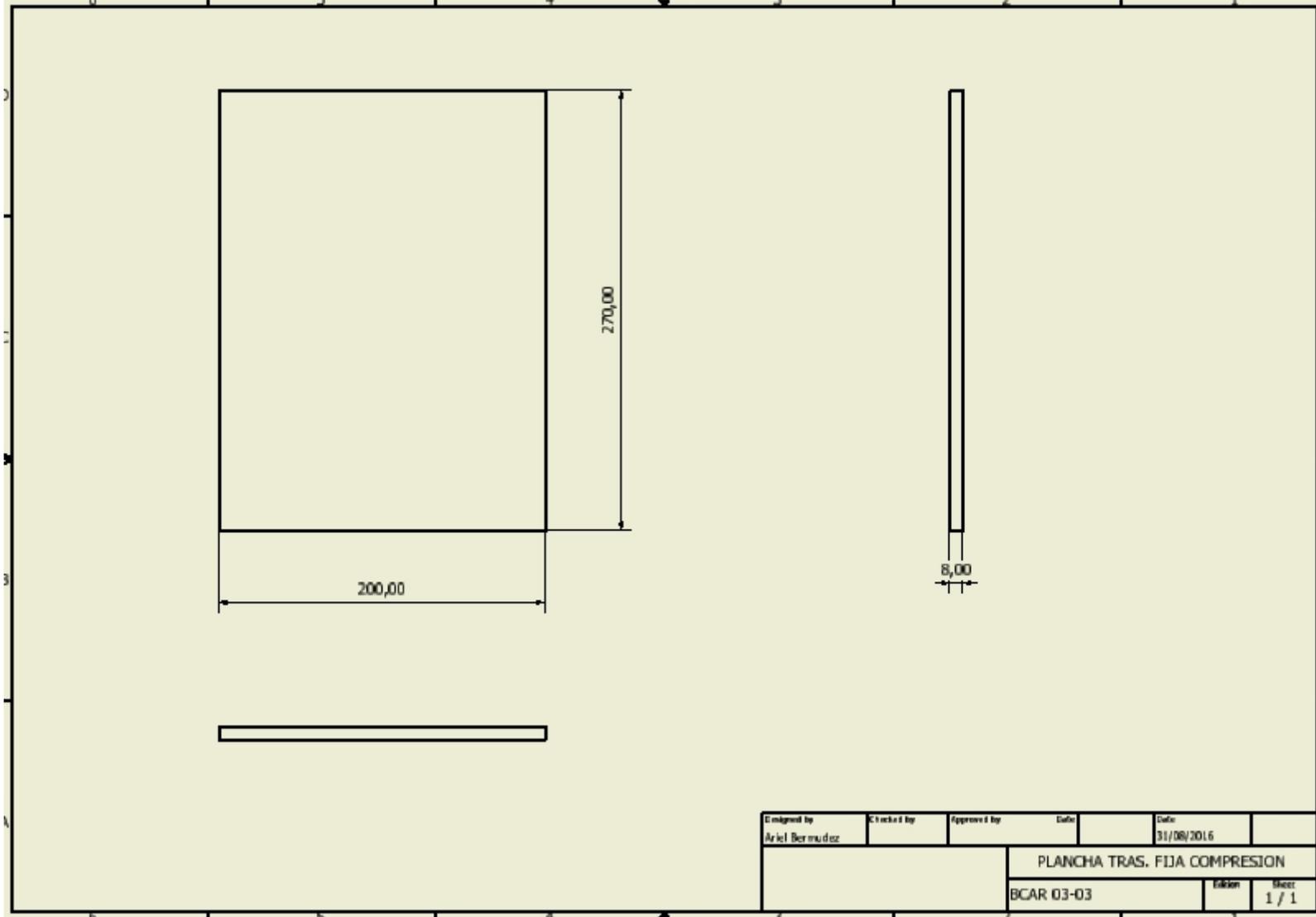


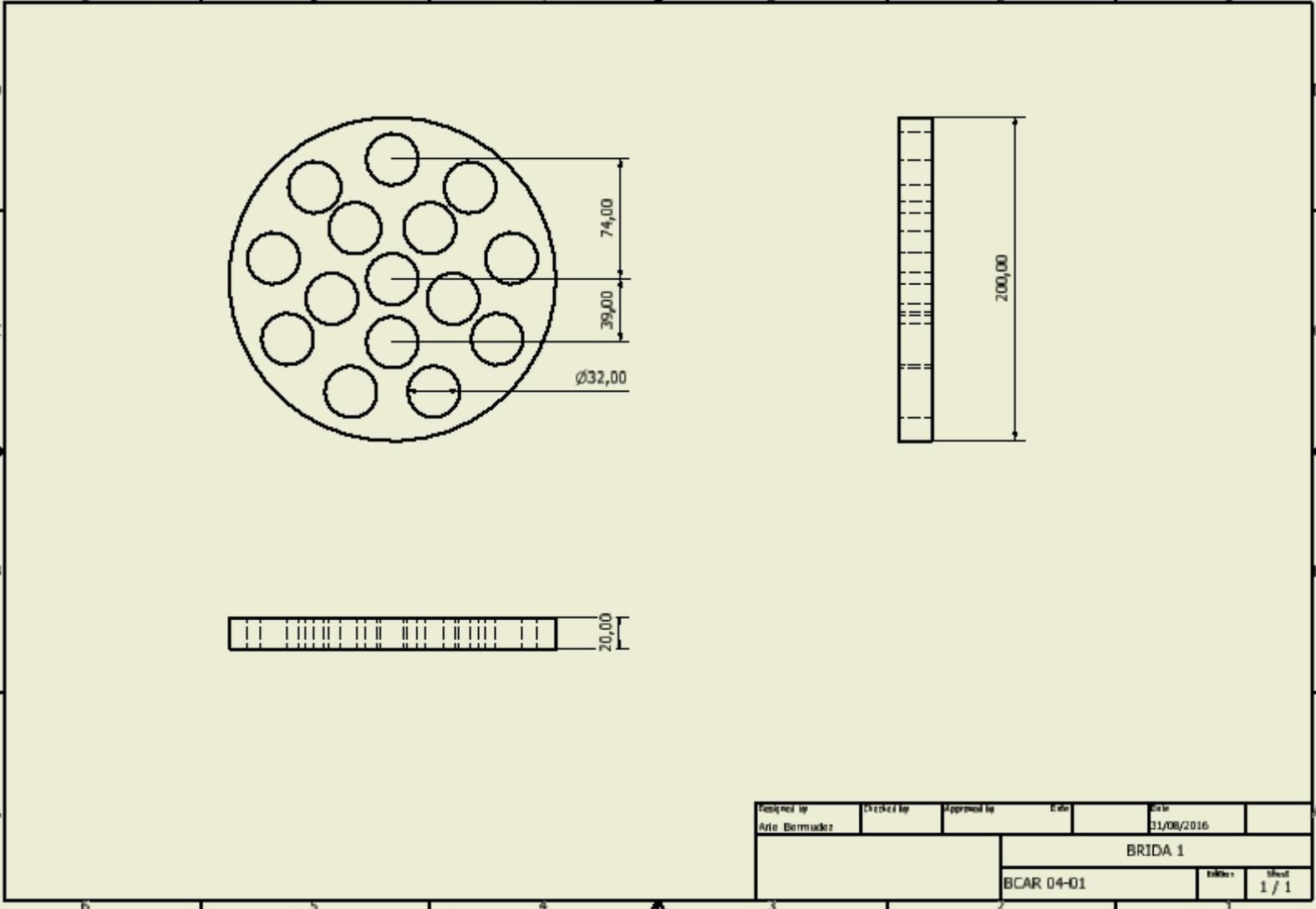


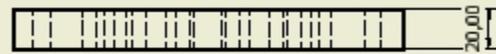
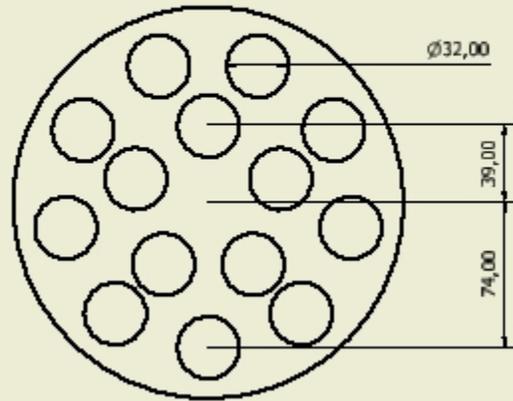




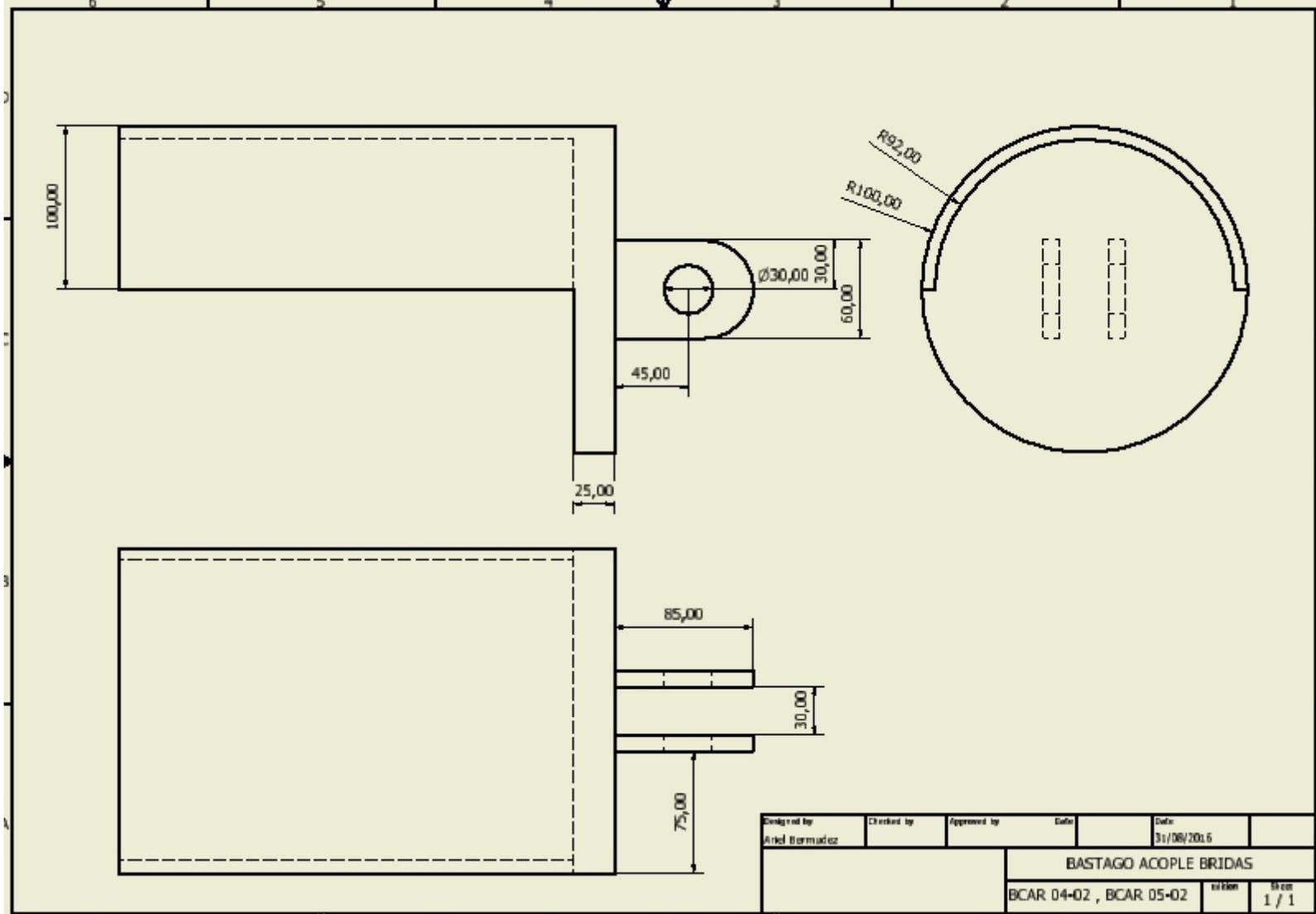


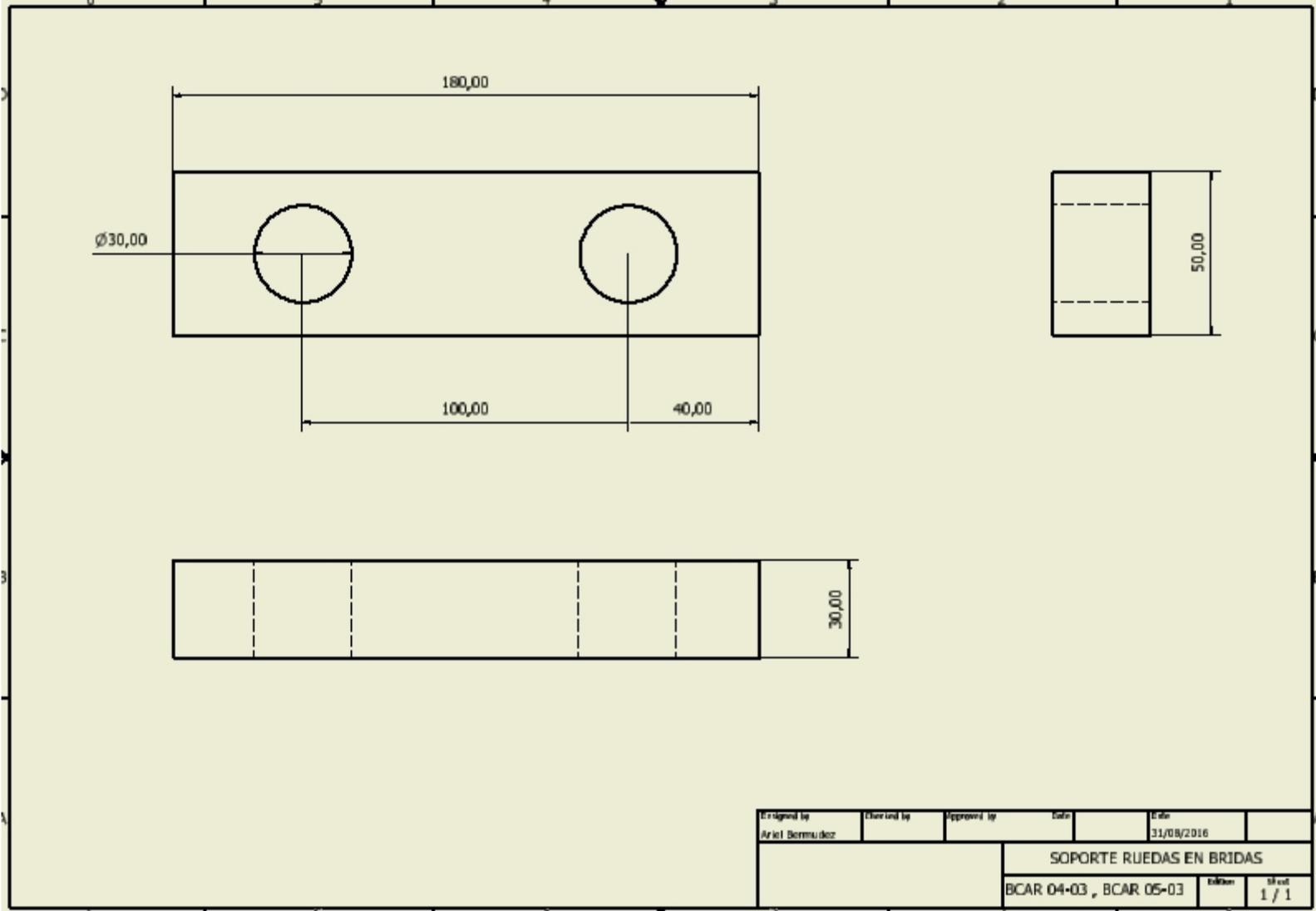


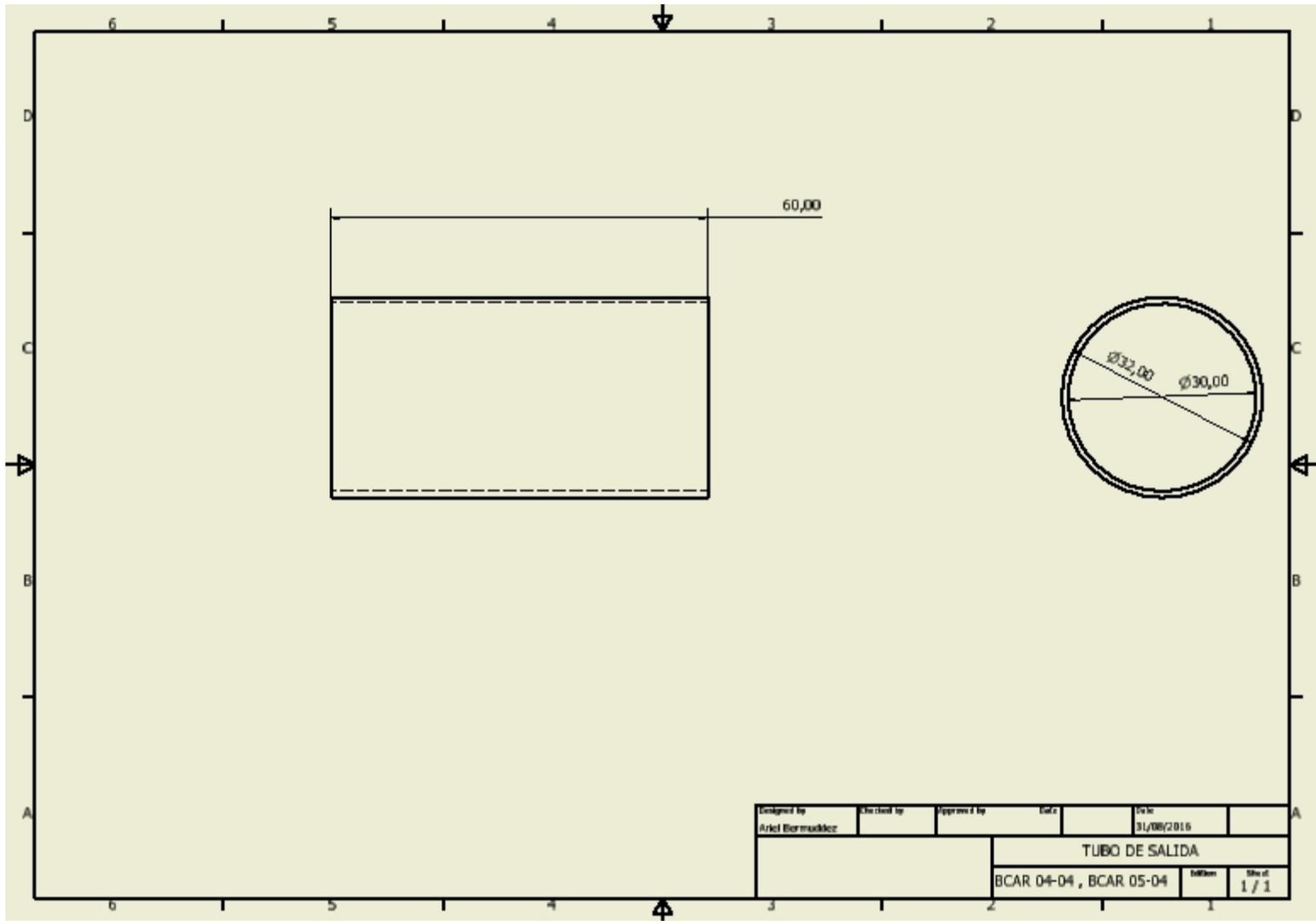


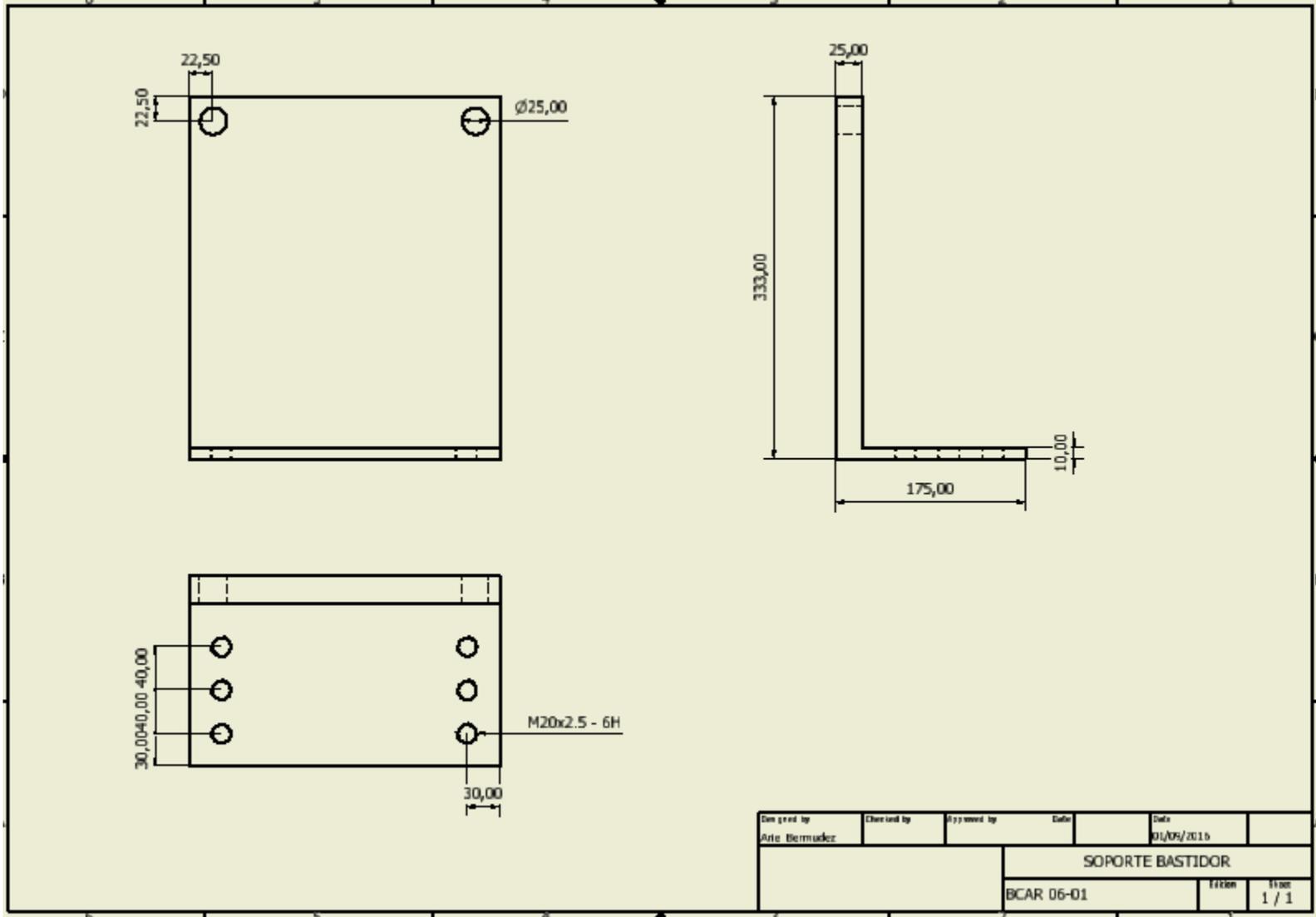


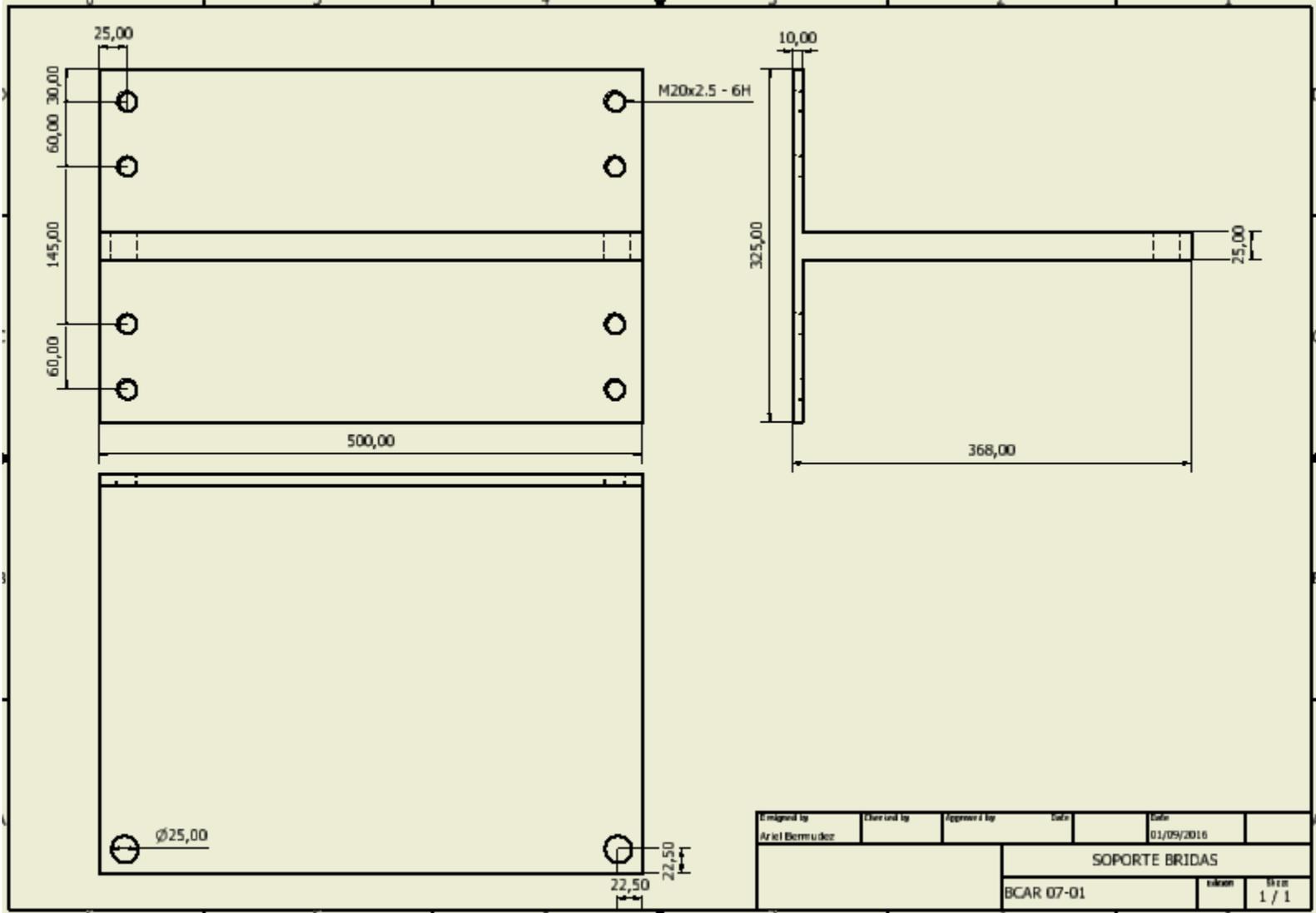
|                |            |             |            |             |
|----------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Designed by    | Checked by | Approved by | Date       | Date        |
| Ariel Bermudez |            |             | 31/08/2016 |             |
|                |            |             | BRIDA 2    |             |
|                |            |             | BCAR 05-01 | Sheet 1 / 1 |

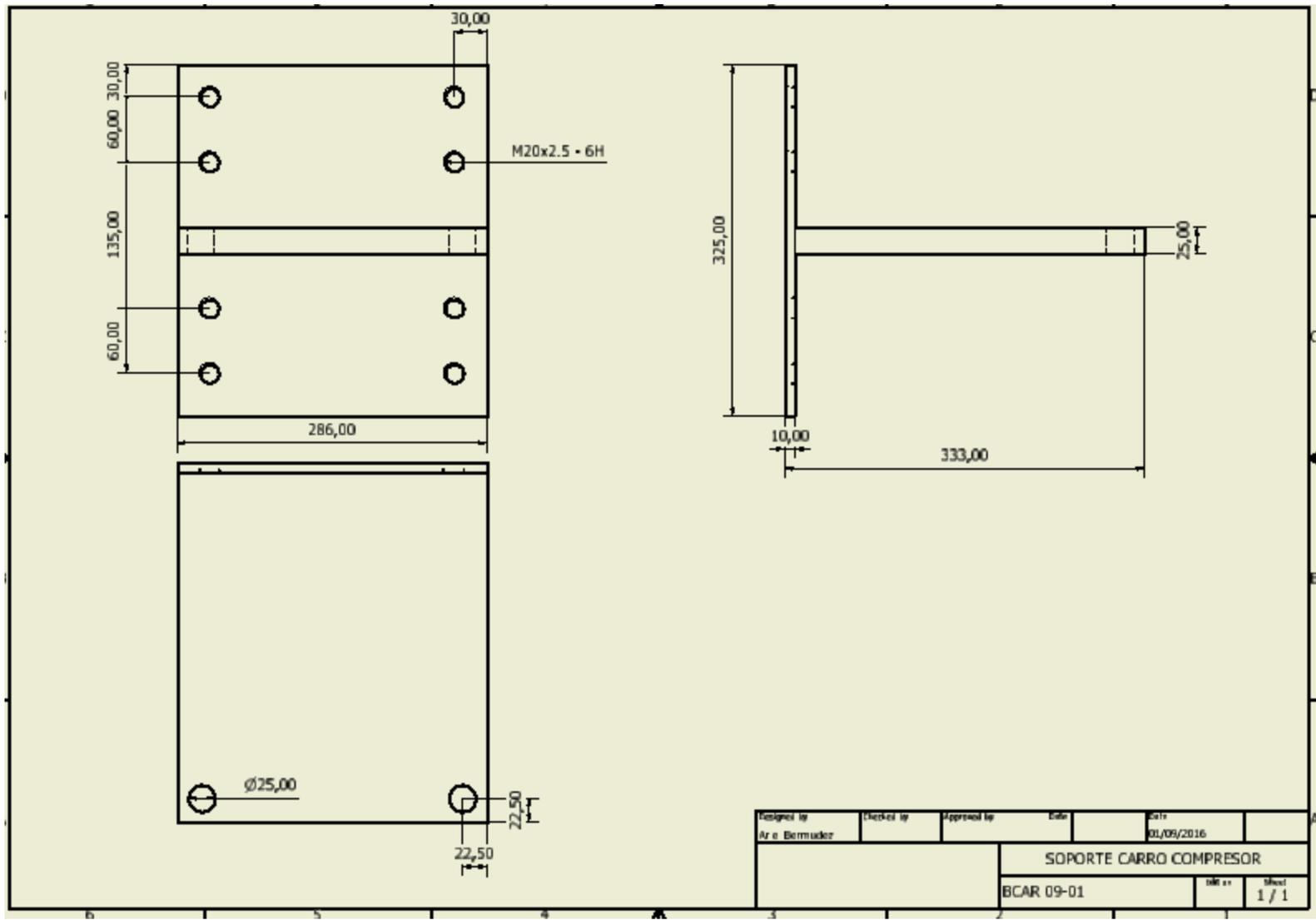


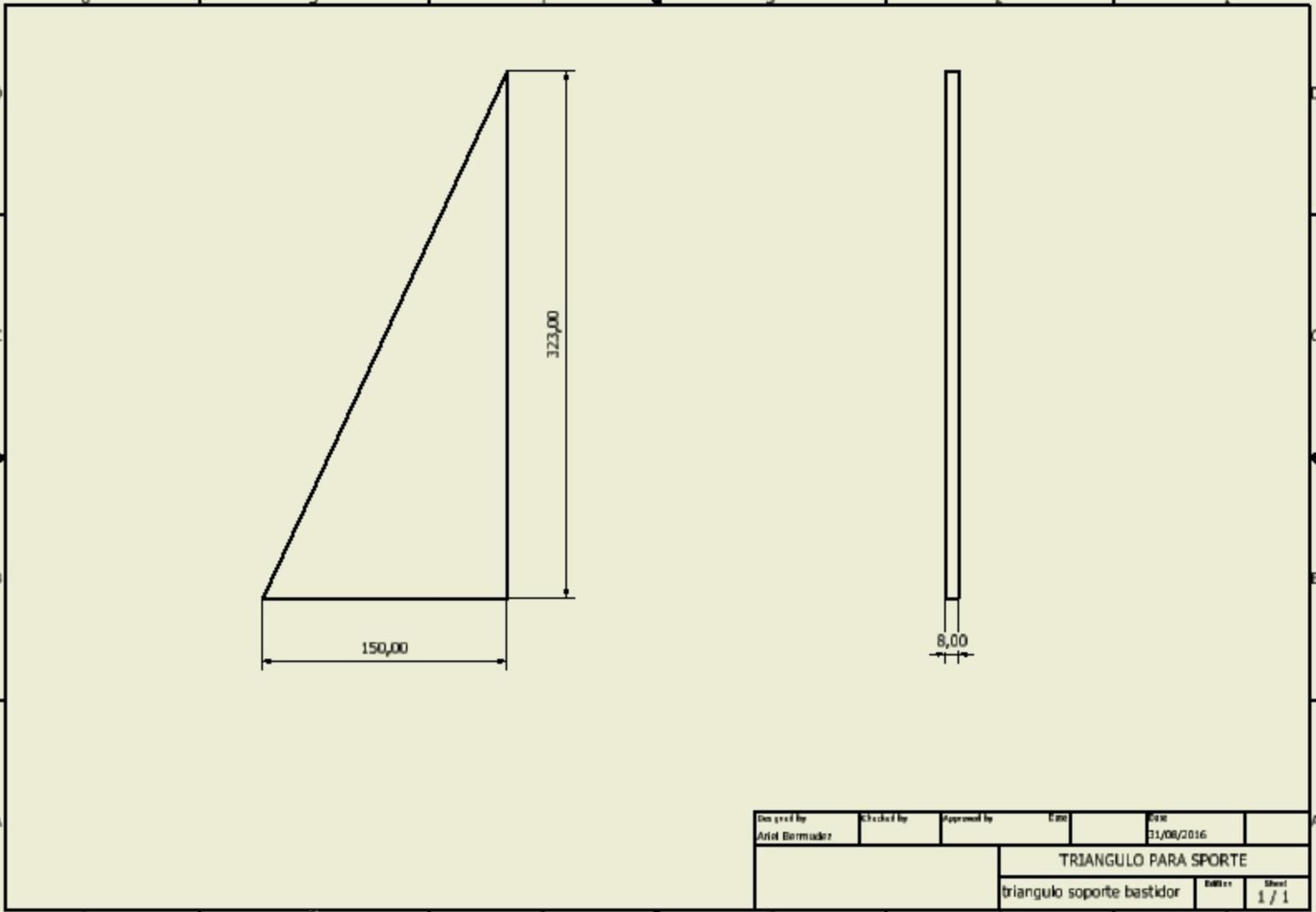


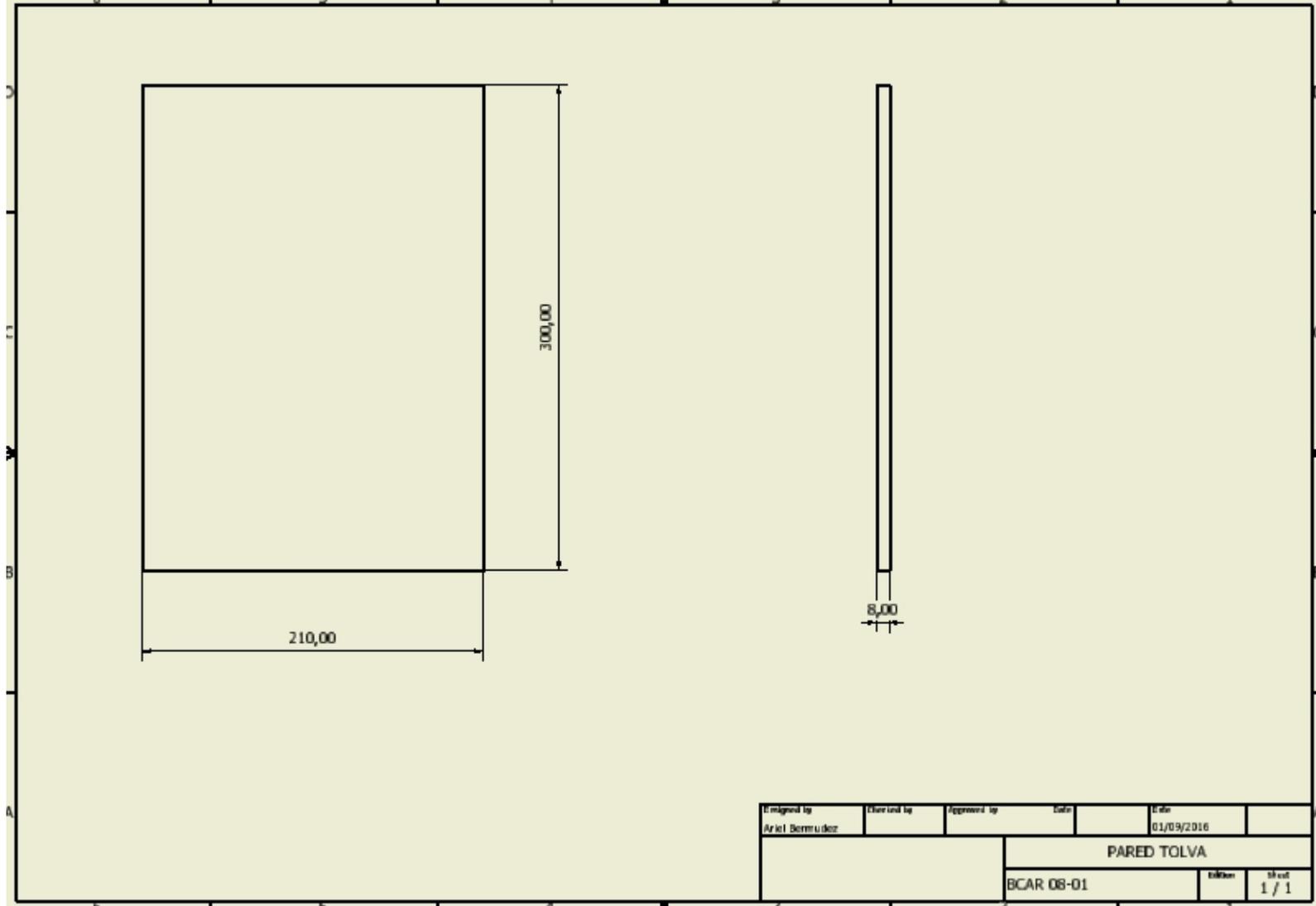




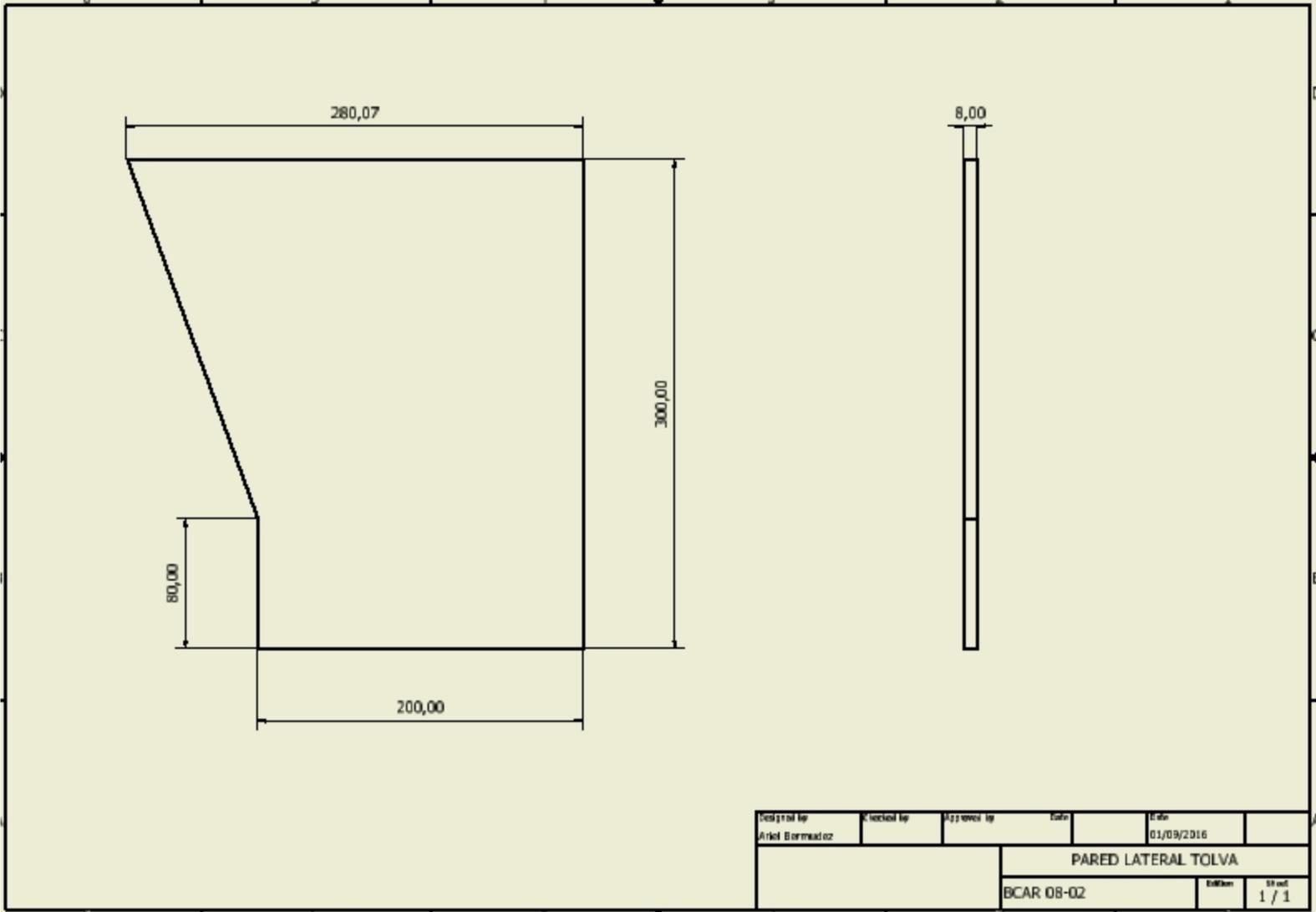


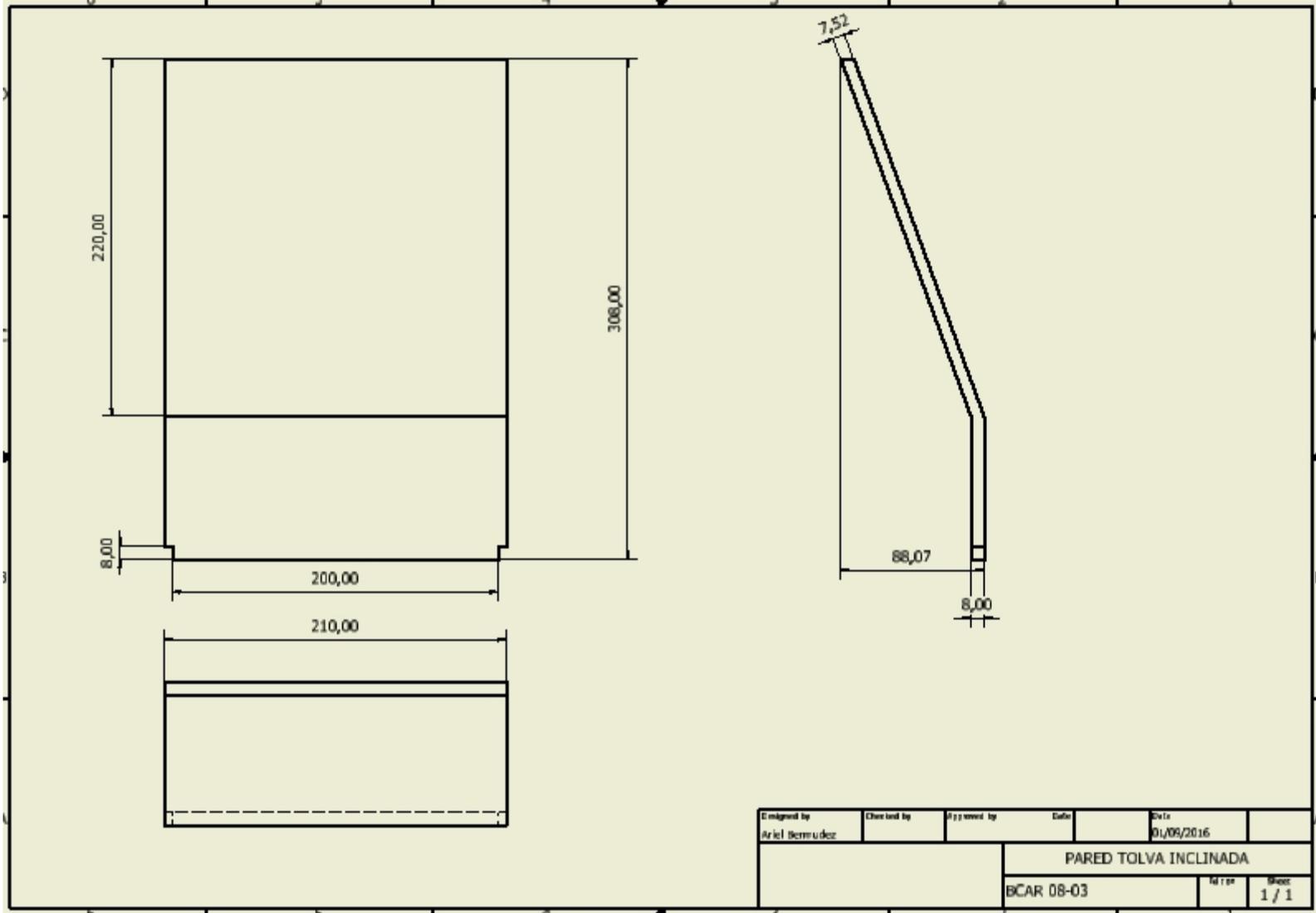




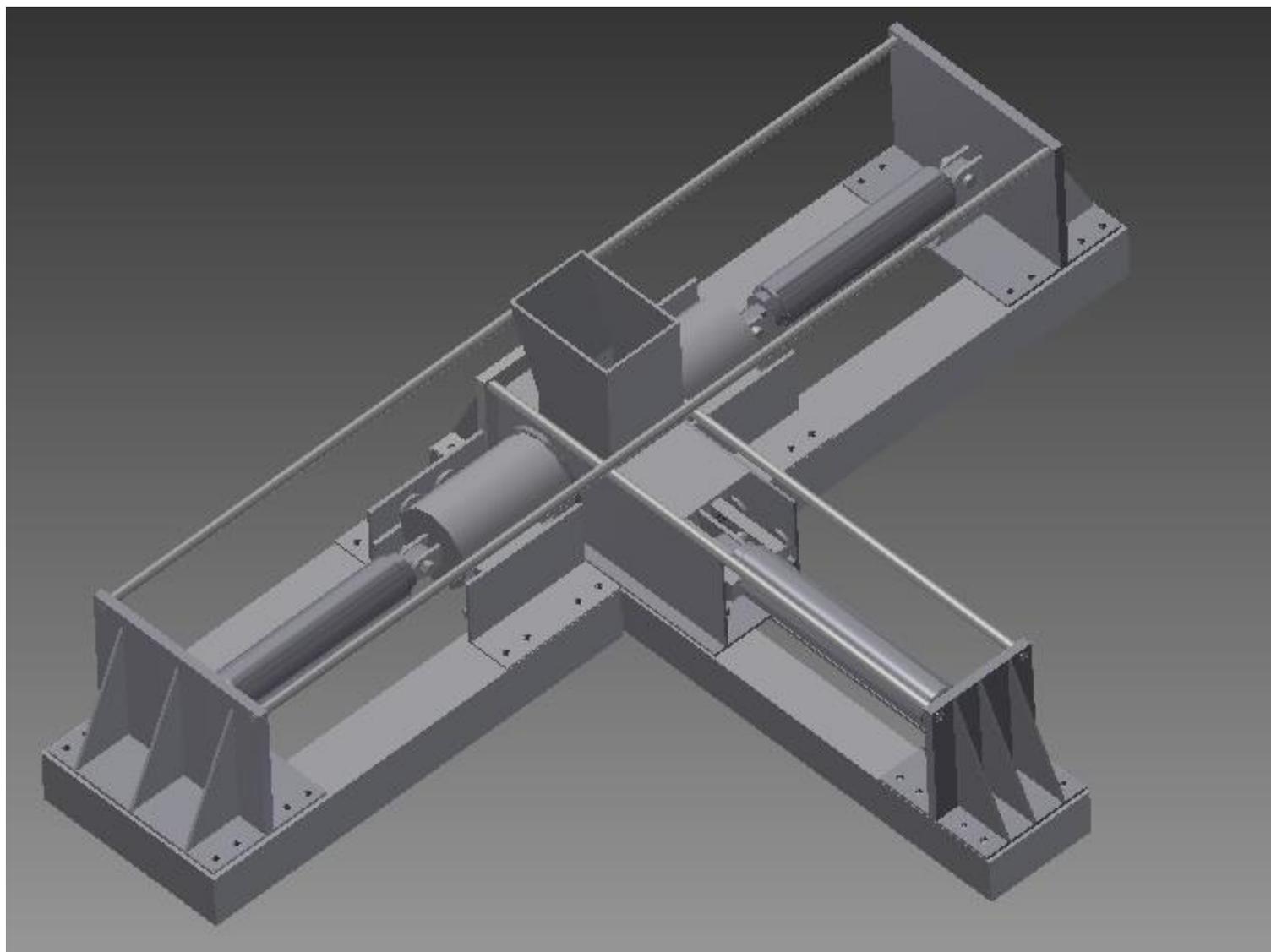


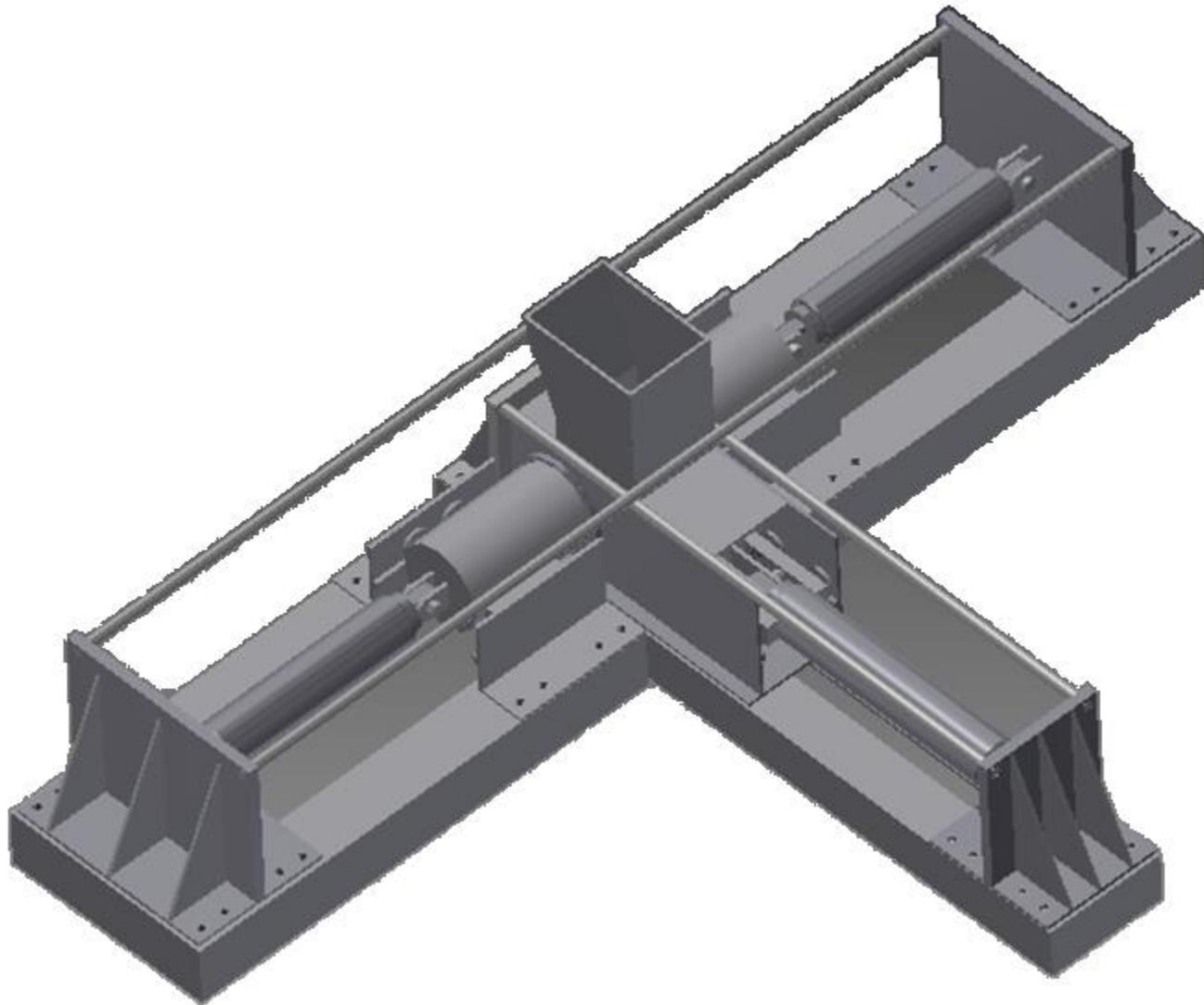
|                |               |              |       |            |
|----------------|---------------|--------------|-------|------------|
| Elaborado por  | Elaborado por | Aprobado por | Fecha | 01/09/2016 |
| Ariel Bermudez |               |              |       |            |
| PARED TOLVA    |               |              |       |            |
| BCAR 08-01     |               |              | Hoja  | 1 / 1      |





Anexo 3





## Anexos 4



